

Nilmara Braga Mozzer

**O ATO CRIATIVO DE COMPARAR:
UM ESTUDO DAS ANALOGIAS
ELABORADAS POR ALUNOS E
PROFESSORES DE CIÊNCIAS**

Belo Horizonte

2008

Nilmara Braga Mozzer

**O ATO CRIATIVO DE COMPARAR:
UM ESTUDO DAS ANALOGIAS
ELABORADAS POR ALUNOS E
PROFESSORES DE CIÊNCIAS**

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

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Rosária da Silva Justi.

Belo Horizonte
Faculdade de Educação da UFMG
2008

AGRADECIMENTOS

Todo o tempo dedicado a este trabalho foi um tempo de contribuição de pessoas que, às vezes, nem o sabiam. Suas observações quase sempre abriram novas perspectivas ao trabalho. Há contributos de naturezas diversas que merecem ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus agradecimentos:

À minha orientadora e amiga Profa. Dra. Rosária Justi, pela confiança, contínuo incentivo, norteando as decisões a serem tomadas nos momentos de maior dificuldade, interessada em participar de minhas inquietações.

Ao meu marido e amigo Leandro Mozzer, pelo amor, compreensão, respeito e estímulo.

À minha querida mãe pelo calor humano, paciência, apoio e exemplo.

À minha irmã Liliane pela cumplicidade e escuta.

Às minhas sobrinhas Júlia e Bia pelo convívio e entusiasmo.

Ao Samuel, Nara e Jaqueline pela disposição.

Aos meus tios e tias (em especial ao Dário) que consciente ou inconscientemente se tornaram exemplos para mim, cada qual com suas qualidades que, de tão nítidas, parecem inatas.

À Carol, professora de inglês, pelo apoio e profissionalismo.

Ao Marcos, professor de francês, pelo encorajamento e compreensão que sempre me ajudaram.

Aos participantes do grupo de pesquisa NPEC que muito me ajudaram a vencer esse período de trabalho intenso.

À Helô, Myrna, Michelle e Gislene pela amizade e carinho.

Aos alunos e professores que, gentil e pacientemente, concederam parte do seu precioso tempo para que esse trabalho pudesse ser realizado.

Aos professores do curso de Pós-graduação da Faculdade de Educação da UFMG que me forneceram subsídios para realização deste trabalho.

“(...) Nós não podemos aprender, ser surpreendidos ou impressionados com alguma coisa a menos que tenhamos a visão de como ela deveria ser; e essa visão é quase certamente uma analogia. Nós não podemos descobrir que nós erramos se nós nunca cometermos um erro; e nossos erros são, quase sempre, sob a forma de uma analogia a alguma outra parte da experiência.”

(Oppenheimer, 1955, p.130)

RESUMO

As analogias são um recurso potencial do pensamento humano através do qual podemos adquirir novos conhecimentos ou modificar aqueles já existentes, possuindo, portanto um papel crucial na cognição humana. Nesse sentido, compreender como o raciocínio analógico se processa torna-se uma condição necessária para a compreensão de como o ser humano aprende. Apesar da importância desse conhecimento, existe pouca concordância na literatura das ciências cognitivas sobre esse tipo de raciocínio.

Na perspectiva deste trabalho e no intuito de fornecer maiores esclarecimentos sobre o processo, assumimos as analogias como modelos que *relacionam* dois domínios análogos comparados: o familiar (domínio análogo) e o não familiar (domínio alvo).

Compreendendo a noção de familiaridade como uma particularidade individual, este trabalho se propôs a investigar o estabelecimento do raciocínio analógico por professores e alunos como um processo criativo quando eles foram estimulados a criar suas próprias analogias e as explicarem.

Para cumprir tal tarefa, realizamos entrevistas com alunos da oitava série do ensino fundamental, professores de Química e o professor de Física destes alunos, utilizando as técnicas do método clínico de Piaget. Essas técnicas se fundamentam em uma intervenção sistemática do pesquisador diante da conduta do sujeito para esclarecer o sentido de suas ações, explicações (ou ambas) em diferentes momentos da entrevista.

O tema dessas entrevistas foi "ligação química". Elas foram registradas em áudio e em vídeo e transcritas. A partir da interpretação dessas transcrições, construímos os dados que foram apresentados e analisados neste trabalho.

Nossos dados ressaltaram, principalmente, a influência dos objetivos do sujeito durante todo o processo de criação das analogias e que o *conhecimento saliente* dos professores e alunos são determinantes no tipo de comparação estabelecida e no número de relações mapeadas.

Uma possível implicação dessas constatações é o fato de que, ao permitir que os alunos elaborem suas próprias analogias e, com isso atuem como agentes na construção de seu próprio conhecimento, o professor pode obter informações sobre o conhecimento disponível ao aluno com relação ao assunto que almeja ensinar e, a partir daí, fundamentar suas ações.

ABSTRACT

Analogies are a valuable resources for human thinking from which we can either acquire new knowledge or modify previous knowledge, thus exerting a relevant role in human cognition. Therefore, to understand how analogical reasoning is established becomes a necessary condition to understand how individuals learn. Despite the importance of such knowledge, there is little agreement about this kind of reasoning in the cognitive science literature.

In this work, aiming at providing comprehensive explanations about the process, we accept that analogies are models that establish relationships between two domains: the familiar (analogous domain) and the non-familiar one (target domain).

By understanding the notion of familiarity as an individual particularity, this work aims at investigating students and teachers' analogical reasoning as a creative process in situations in which they were stimulated to generate their own analogies and to explain them.

In order to do so, we interviewed eighth year fundamental level students, chemistry teachers and these students' physics teacher by using the Piaget's clinical method techniques. Such techniques are based on a systematic intervention of the researcher in the individual's behaviour in order to make the meaning of his/her actions, and explanations (or both) clear in different moments of the interview.

Chemical bond was the theme of the interviews. They were audio- and video-recorded, transcribed by the researcher. From the interpretation of such transcriptions, we built the data that were presented and analysed in this work.

Our data mainly emphasised the influence of the individuals' aims during the whole process of elaboration of analogies, as well as that the students and teachers' salient knowledge are determinative for both the type of comparison that is established and the number of relationships that are mapped.

A possible implication of these conclusions is the fact that, allowing students to create their own analogies, thus acting as agent in the construction of their own knowledge, the teacher can obtain information about the students' available knowledge related to the theme to be taught, and can basis his/her actions from these information.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
SUMÁRIO	VII
CAPÍTULO 1. PANORAMA DO TRABALHO	1
CAPÍTULO 2. ANALOGIA E RACIOCÍNIO ANALÓGICO	3
INTRODUÇÃO	3
METÁFORAS, ANALOGIAS E COGNIÇÃO HUMANA.....	4
Tipos de analogias e outras similaridades.....	7
Confusões na utilização do termo analogia.....	10
ALGUNS MODELOS DE RACIOCÍNIO ANALÓGICO.....	11
CRÍTICAS ÀS TEORIAS DE MAPEAMENTO ANALÓGICO	17
ANALOGIAS NA CIÊNCIA	19
ANALOGIAS NA APRENDIZAGEM E ENSINO DE CIÊNCIAS	21
Potencialidades e problemas na utilização de analogias	23
Analogias e professores de ciências	24
Analogias e alunos de ciências.....	26
PESQUISAS SOBRE ELABORAÇÃO DE ANALOGIAS POR ALUNOS E PROFESSORES.....	27
Alguns desafios para a investigação dos processos analógicos	29
QUESTÕES DE PESQUISA	30
CAPÍTULO 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	31
COLETA DE DADOS.....	31
O método clínico: aspectos que justificam sua escolha.....	34
Estruturação e condução das entrevistas.....	35
AMOSTRA.....	41
CONTEXTO DE ENSINO E AULAS INTRODUTÓRIAS	41
RESULTADOS E ANÁLISE.....	47
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES ESPECÍFICAS.....	50
ALUNOS	50
Aluno 1 – Entrevista pré-instrução	50
Aluno 1 – Entrevista pós-instrução.....	54
Aluna 2 – Entrevista pré-instrução	56

Aluna 2 – Entrevista pós-instrução	59
Aluna 3 – Entrevista pré-instrução	60
Aluna 3 – Entrevista pós-instrução	63
Aluna 4 – Entrevista pré-instrução	65
Aluna 4 – Entrevista pós-instrução	69
Aluno 5 – Entrevista pré-instrução	72
Aluno 5 – Entrevista pós-instrução	75
Aluno 6 – Entrevista pré-instrução	77
Aluno 6 – Entrevista pós-instrução	81
Aluna 7 – Entrevista pré-instrução	83
Aluna 7 – Entrevista pós-instrução	87
Aluna 8 – Entrevista pré-instrução	90
Aluna 8 – Entrevista pós-instrução	93
Aluna 9 – Entrevista pré-instrução	97
Aluna 9 – Entrevista pós-instrução	100
PROFESSORES	103
Professora 1	104
Professora 2	107
Professor 3	112
Professor 4	116
Professora 5	122
Professor 6	126
CAPÍTULO 5. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS.....	134
ALUNOS	134
Acesso.....	140
Mapeamento.....	143
Inferências.....	146
Avaliação.....	148
Generalização.....	151
Outros aspectos das comparações dos alunos e de como elas foram estabelecidas .	151
PROFESSORES	153
Acesso.....	161
Mapeamento.....	163
Inferências e Avaliação	166
Generalização.....	168

Outros aspectos das comparações dos professores e de como elas foram estabelecidas	168
CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES	172
CONCLUSÕES	172
MODELOS DE RACIOCÍNIO ANALÓGICO SOB O ENFOQUE DO PROCESSO CRIATIVO	178
IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS E PARA A PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS	181
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
Anexos	189
ANEXO 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO À DIREÇÃO DA ESCOLA ..	189
ANEXO 2 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO ALUNO	192
ANEXO 3 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO RESPONSÁVEL PELO ALUNO	194
ANEXO 4 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO PROFESSOR.....	196
ANEXO 5 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O ALUNO – ENTREVISTA PRÉ-INSTRUÇÃO	198
ANEXO 6 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O ALUNO – ENTREVISTA PÓS-INSTRUÇÃO	199
ANEXO 7 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM OS PROFESSORES DE QUÍMICA	200
ANEXO 8 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O PROFESSOR DE FÍSICA	201

CAPÍTULO 1. PANORAMA DO TRABALHO

As analogias são um recurso potencial do pensamento humano através do qual podemos adquirir novos conhecimentos ou modificar aqueles já existentes, possuindo, portanto, um papel crucial na cognição humana. Nesse sentido, compreender como o raciocínio analógico se processa torna-se uma condição necessária para a compreensão de como o ser humano aprende. Apesar da importância desse conhecimento, existe pouca concordância na literatura das ciências cognitivas sobre esse tipo de raciocínio.

Este trabalho se insere no âmbito daqueles que buscam investigar como indivíduos – particularmente alunos e professores de ciências – raciocinam analogicamente. O foco específico da investigação é o processo de desenvolvimento do raciocínio analógico em um contexto em que os sujeitos são estimulados a criar suas próprias analogias.

Visando familiarizar o leitor com as principais pesquisas realizadas neste tema e, ao mesmo tempo, contextualizar a importância deste trabalho apresentamos, no Capítulo 2, a evolução das idéias sobre analogias e metáforas no discurso científico. Nesse capítulo também ressaltamos o papel de analogias e metáforas na cognição humana e as diferenças entre analogias e outros tipos de comparações. Assim, discutimos alguns dos modelos propostos na literatura da área de cognição em ciências para o processamento do raciocínio analógico e as principais críticas a eles. Mais especificamente, colocamos em evidência alguns aspectos da utilização das analogias no ensino e aprendizagem de ciências, destacando suas potencialidades e problemas e sua utilização por professores e alunos. Focalizamos alguns resultados de pesquisas em que professores e alunos elaboram suas analogias e os desafios que essas pesquisas abrem para a investigação dos processos analógicos. Apresentamos, ao final deste capítulo, as questões de pesquisa a que nos propusemos a investigar neste trabalho.

No capítulo 3, apresentamos a metodologia que utilizamos na coleta de informações e na interpretação dessas informações, as quais deram origem aos nossos dados. Além disso, destacamos as informações que consideramos mais relevantes sobre a amostra e sobre o contexto de ensino em que os sujeitos desta pesquisa se encontravam inseridos. Finalmente, descrevemos como os dados foram analisados de forma a fundamentar a discussão das questões de pesquisa.

Nos capítulos 4 e 5, os dados gerados nesta pesquisa são apresentados, discutidos e analisados a partir de determinados pressupostos, também destacados nestes capítulos.

Finalmente, no capítulo 6 traçamos as principais conclusões que emergiram de nossa análise, destacando as possíveis implicações para os processos de ensino e aprendizagem de ciências e para a formação de professores de ciências. Apresentamos também algumas questões de pesquisa, cuja investigação poderá gerar contribuições para a área e formação de professores de ciências.

CAPÍTULO 2. ANALOGIA E RACIOCÍNIO ANALÓGICO

INTRODUÇÃO

A cultura ocidental, fundamentada na chamada racionalidade objetiva, por muito tempo valorizou (e ainda valoriza) a essência (*episteme*) em oposição à aparência (*doxa*), e considerou a imaginação, as experiências, as convicções pessoais e as tradições culturais como embotadoras da verdade. A ciência, alicerçada nessa concepção, primou pelo mensurável e pela linguagem controlada na tentativa de neutralizar a subjetividade.

Dentro dessa realidade, a metáfora era indesejável no discurso científico, sendo “considerada um desvio da linguagem usual e própria das linguagens especiais como a poética e a persuasiva”, conforme destaca o Grupo de Estudos da Indeterminação e da Metáfora – GEIM na tradução de *Metaphors we live by* (Lakoff & Johnson, 2002, p. 11). O discurso científico deveria fazer uso da linguagem literal, clara, precisa e determinada.

Somente a partir de 1970, ocorreu uma mudança paradigmática que rejeitou a idéia de um acesso à verdade absoluta, reformulou a maneira de conceber a objetividade e colocou a metáfora em posição privilegiada na cognição humana e no discurso científico.

A grande contribuição de Lakoff e Johnson nessa mudança de paradigma foi a inferência de um sistema conceitual metafórico subjacente à linguagem que, segundo eles, regeira nosso pensamento e nossa ação. Eles descobriram inúmeras metáforas conceituais subjacentes às expressões lingüísticas cotidianas, demonstrando que a nossa linguagem é apenas parcialmente literal. Expressões metafóricas como ‘não consigo *tirar* essa idéia da minha cabeça’, ‘não consigo *pegar* o sentido desse texto’, ou ‘suas críticas foram *direto ao alvo*’ trazem idéias de mente como um recipiente, da compreensão como um ato de pegar e da discussão como guerra. Tais expressões, muitas vezes, nos passam despercebidas.

Para esses autores, a metáfora consistiria em “compreender uma coisa em termos de outra” (Lakoff & Johnson, 2002, p. 19), lançando mão da razão e da emoção, numa racionalidade imaginativa essencial tanto para a ciência quanto para a literatura.

Segundo os autores do GEIM, em seu trabalho de 1986, *Metaphor and symbolic activity* (Lakoff & Johnson, 1986 apud Lakoff & Johnson, 2002), Lakoff transformou o conceito de metáfora acima mencionado em metáfora conceitual, o qual envolve a compreensão de um domínio da experiência a partir de outro muito diferente dele, através de um mapeamento estruturado sistematicamente. Essa definição muito se aproxima da

definição de analogia largamente difundida nas pesquisas atuais nos campos das ciências cognitivas e da filosofia da ciência, a qual será comentada posteriormente.

A idéia de que as metáforas fazem parte de nosso sistema conceitual, sendo um fenômeno central na linguagem, pensamento e cognição humanos, presentes, por isso, na linguagem científica, vem questionar as bases de nossa cultura objetivista ao mesmo tempo em que nos permite e nos motiva a avançar na intenção de compreender seu papel na estruturação de boa parte do conhecimento e da experiência humanos.

METÁFORAS, ANALOGIAS E COGNIÇÃO HUMANA

Os termos metáfora e analogia têm sido utilizados muitas vezes de maneira indistinta na literatura da educação em ciência, apesar de autores como Duit (1991) e Gentner (1983) estabelecerem algumas diferenças. Esses mesmos autores admitem que em certas ocasiões metáforas são, essencialmente, analogias, ou que uma pode ser transformada na outra.

Para definir analogias, começaremos pela definição de modelo de Gilbert (1993, p. 5), segundo a qual

“modelo é uma representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou sistema. Tal representação pode ser usada para fazer previsões, guiar pesquisas, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação”.

Nesse sentido, as analogias seriam modelos que propiciam o estabelecimento de *relações* entre um domínio familiar chamado de *domínio análogo* (Glynn, 1991), *fonte* (Rumelhart e Norman, 1981 apud Duit, 1991) ou *base* (Gentner, 1983) e um outro desconhecido chamado de *domínio alvo* por autores como Gentner (1983), Duit (1991) e Glynn (1991) (figura 1).

É a existência de uma relação analógica entre domínios diferentes representando uma idéia que faz da analogia um modelo e o que, segundo Duit (1991) e Justi e Gilbert (2006), caracteriza também um modelo. Essa relação de reciprocidade pode ser verificada quando analisamos o fato de que um modelo, em sua essência, é uma representação parcial do domínio alvo resultante do estabelecimento de uma relação analógica com este.

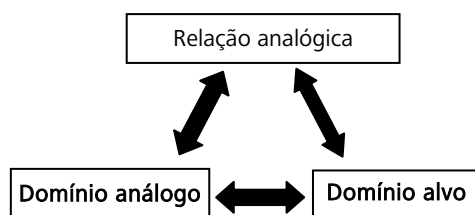


Figura 1. Esquema da relação analógica estabelecida através da analogia.

Por outro lado, as metáforas, segundo Duit (1991) – diferentemente das analogias que comparam explicitamente estruturas de dois domínios – seriam comparações implícitas cuja base deve ser revelada ou até criada pelo destinatário. Por exemplo, quando dizemos que uma pessoa é uma raposa, estamos querendo dizer que se trata de uma pessoa astuta. Se tomássemos a metáfora literalmente, ela deixaria de ter sentido – e até veracidade – porque as qualidades relacionais nos dois domínios não são coincidentes.

Para Gentner (1983), a maioria das metáforas são relacionais e, portanto, analogias. Apesar disso, algumas podem ser somente combinações de atributos que podem ser poucos, mas evidentes, além de freqüentemente mais salientes na base do que no alvo (como no exemplo da raposa). Para essa autora, como veremos ao discutir as teorias sobre raciocínio analógico, o foco de uma analogia é relacional e não relativo aos atributos compartilhados entre a base e o alvo e, por isso, esse tipo de metáfora não constitui uma analogia. Existem ainda, segundo ela, metáforas que são uma mistura desses tipos.

Vosniadou (1989), em concordância com a definição de Gentner para metáforas, afirma que similaridade entre domínios conceituais diferentes é uma característica de similaridades não literais como as metáforas e que, por isso, as analogias podem se transformar em metáforas como nos exemplos ‘átomos são sistemas solares’; ‘inflação é uma doença’; ‘analfabetismo é uma prisão’. Porém, isso não ocorre com analogias dentro do mesmo domínio conceitual. Por exemplo, a expressão ‘um cachorrinho é um gatinho’ não apresenta sentido.

Apesar dessas distinções, existe um consenso entre autores como Lakoff (1987), Solomon (1986, apud Dagher, 1995a), Gentner e Holyoak (1997), Holyoak (2001), Vosniadou e Ortony (1989) e Wong (1993) quanto ao papel que metáforas e analogias apresentam na cognição humana.

“Perceber o familiar em situações novas é natural e inevitável: se isso não ocorresse todas as experiências iriam parecer estranhas. Similarmente, aquilo que surpreende pelo não familiar em situações novas é o que o define como diferente. Um equilíbrio dinâmico entre reconhecimento e diferenciação caracteriza percepção e entendimento humanos. Raciocínio analógico é um dos meios pelos quais experiência é relacionada e diferenciada daquilo que já é

conhecido. Através de analogias, um entendimento de situações novas pode ser construído por comparação com um domínio do conhecimento mais familiar” (Wong, 1993, p. 1259).

Segundo Lakoff (1997), a categorização reflete a cognição humana, pois se trata da principal maneira de atribuirmos sentido às nossas experiências. Essa significação se dá através de nossas experiências corporais e de nossos mecanismos imaginativos como a metáfora, a metonímia e as imagens mentais. Portanto, a metáfora seria uma das facetas dessa capacidade humana de produzir sentido através da categorização.

O papel da analogia na cognição também é destacado por Gentner e Holyoak (2001). Segundo eles, a “ilusão de familiaridade” que temos com relação a coisas ou eventos depende da capacidade da mente humana de encontrar – e, se necessário, criar – similaridades entre experiências passadas e a situação presente. Perceber as similaridades, então, capacita-nos a organizar objetos e eventos em categorias e o mecanismo básico de formação dessas categorias seria a analogia, uma vez que esta nos permite entender uma situação nova em termos de outra já familiar. A progressão de um simples caso de analogia, altamente específico, para conceitos mais abstratos ou esquemas seria, segundo Holyoak et al. (2001), um dos principais papéis da analogia na cognição.

Ainda segundo esses autores, um dos componentes básicos de nossas capacidades cognitivas é um tipo especial de habilidade simbólica que nos permite selecionar padrões, identificar a recorrência desses padrões (apesar da variação nos elementos que os compõem), formar conceitos que simplificam esses padrões e os transformam de algo abstrato em algo mais concreto e expressar esses conceitos através da linguagem. A analogia seria, num sentido mais geral, essa nossa habilidade especial de pensar sobre padrões relacionais.

Vosniadou e Ortony (1989) ressaltam, na mesma direção dos demais, que a habilidade de perceber similaridades e analogias é um dos aspectos mais fundamentais da cognição humana, sendo crucial para reconhecimento, classificação e aprendizagem, além de desempenhar um papel importante na descoberta científica e na criatividade.

De acordo com Solomon (1986, apud Dagher, 1995a), símile e metáfora são fundamentos da modelagem mental e, portanto, constituem ferramentas essenciais para aprendizagem e entendimento de ciências.

A partir desses argumentos, podemos afirmar que analogias podem ser consideradas um recurso potencial do nosso pensamento na construção de novos conhecimentos.

Tipos de analogias e outras similaridades

Uma distinção entre os diferentes tipos de analogias e demais similaridades faz-se necessária, conforme destacado por Vosniadou e Ortony (1989), porque é possível que processos diferentes estejam envolvidos no raciocínio através dessas similaridades, cujas peculiaridades, dentro da perspectiva desse trabalho, serão de grande importância.

Como mencionado no item anterior ao apresentarmos as definições de metáfora, Vosniadou (1989) e Vosniadou e Ortony (1989) distinguem dois tipos de analogias: *analogias entre domínios* (ou metafóricas) e *analogias dentro do mesmo domínio* (ou literais). Segundo eles, na primeira, os itens relacionados analogicamente são extraídos de domínios conceitualmente diferentes ou remotos em que as propriedades particulares envolvidas são muito diferentes, mas que compartilham uma estrutura explanatória similar. Isto ocorre, por exemplo, na analogia entre o átomo e o sistema solar. Na segunda, os itens pertencem ao mesmo domínio ou a domínios muito próximos conceitualmente, como no caso da analogia entre a Lua e a Terra que pode ser utilizada para descobrir se há ciclos de dias e noites na Lua¹.

Segundo Vosniadou (1989), a distinção entre os raciocínios analógicos 'entre domínios' e 'dentro do domínio' não é dicotômica. Ao contrário, trata-se de um *continuum* que vai desde comparações envolvendo itens que são claramente do mesmo conceito até itens que pertencem a domínios diferentes e remotos. A distinção entre os dois tipos de raciocínio seria, então, similar à distinção entre comparações literais e metafóricas (Ortony, 1979 apud Vosniadou, 1989).

Para Gentner (1983; 1989; 1997), além das analogias, outros tipos de similaridades podem ser caracterizadas com relação ao fato de seus domínios apresentarem sobreposições em sua estrutura relacional (predicados que caracterizam relações) e/ou em seus atributos de objetos (predicados que caracterizam descrições simples dos objetos).

Nesses trabalhos, ela faz distinção entre cinco tipos de comparações afirmando que, para uma forte percepção de similaridade entre domínios, é necessário sobreposição em suas estruturas relacionais. Se existir uma sobreposição de ambos, atributos de objetos e relações, trata-se de uma *similaridade literal* (Ex: leite é como água); se a sobreposição é somente de relações, trata-se de uma *analogia* (Ex: o átomo é como o sistema solar); se a

¹ Vosniadou (1989) afirma que, caso desejássemos descobrir se existe um ciclo de dias e noites na Lua e não soubéssemos a resposta direta a essa questão, poderíamos tentar respondê-la estabelecendo uma analogia com a Terra da seguinte maneira: como sabemos que existe um ciclo de dias e noites na Terra que é determinado pela sua rotação em torno de seu eixo, se soubéssemos também que na Lua ocorre esse tipo de rotação – ou supuséssemos que isso ocorre com base em outras similaridades entre ambas – chegaríamos, então, à conclusão de que lá deve existir um ciclo de dias e noites como na Terra.

sobreposição é de atributos de objetos, mas não de relações, trata-se de uma similaridade de *mera aparência* (Ex: o símbolo para infinito é como um 8 deitado); se não existir nenhuma sobreposição de atributos ou relacional, trata-se de uma *anomalia* (Ex: café é como o sistema solar). Por fim, ela propõe a existência de *abstração* que, como a analogia, apresenta poucos atributos de objeto e uma sobreposição de relações e difere desta, e das outras comparações, pelo fato de os poucos atributos de objeto que apresenta, tanto no domínio de base quanto no domínio de alvo, serem abstratos e variáveis (Ex: o átomo é um sistema de força central).

Para Gentner e Markman (1997), num sentido fundamental, similaridade literal é como analogia, pois ambas envolvem um alinhamento de estrutura relacional. A diferença entre elas, como estabelecida acima, está no fato de que, na analogia, somente predicados relacionais são compartilhados, enquanto que na similaridade literal tanto predicados relacionais quanto predicados de objeto são compartilhados. Ainda segundo esses autores, 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 são mais fáceis de notar e mapear (especialmente para iniciantes) do que as comparações puramente analógicas, apesar de ambas serem regidas pelos mesmos princípios de alinhamento estrutural e mapeamento.

Em contraste, combinações de mera aparência – ao compartilharem somente descrições de objetos, mas não relações entre os domínios – são, nesse sentido, o oposto de analogias. Tais combinações são nitidamente limitadas em sua utilidade preditiva. Apesar disso, elas devem ser levadas em consideração uma vez que, freqüentemente, ocorrem entre crianças e outros iniciantes e podem interferir em sua aprendizagem (Gentner & Markman, 1997).

Vosniadou argumenta, com relação a essa classificação – que, segundo ela, é estabelecida por Gentner e que esta utiliza para distinguir analogia de outras comparações – que o fato de os análogos pertencerem a domínios conceituais diferentes não é uma característica que define o raciocínio analógico. Para ela, tal característica seria a similaridade estrutural entre eles, independente de os análogos serem entre domínios conceituais diferentes ou dentro do mesmo domínio (ou de domínios similares). Ela cita, para exemplificar, a analogia entre a Terra e a Lua, referida anteriormente, e afirma que apesar de existirem muitas propriedades compartilhadas entre ambas, somente a relação causal entre o eixo de rotação e a existência de ciclos de dias e noites seria mapeada da fonte para o alvo.

Fundamentalmente, ao analisarmos essas duas classificações notamos que se trata, em grande parte, dos mesmos conceitos com terminologias distintas estabelecidas pelos autores.

Em termos gerais, compartilhamos as idéias de Gentner sobre os tipos de similaridades e os critérios que as diferenciam, em especial no que diz respeito às analogias, similaridades literais e comparações de mera aparência. Isso porque ao assumirmos que analogias são modelos e sabendo que estes compartilham relações com o conhecimento que representam – condição fundamental para que algo seja reconhecido como modelo –, o mesmo se dará com as relações analógicas entre domínios comparados. Além disso, se o modelo utilizado para representar determinado conhecimento compartilha com ele, além de relações, propriedades descritivas, então ele seria, a nosso ver, uma similaridade literal. E, finalmente, caso esse compartilhamento só ocorra para as propriedades descritivas, consideramos serem estas, comparações de mera aparência.

Outra distinção muito comum na literatura da área, como destacam Vosniadou e Ortony (1989), é a classificação das similaridades como similaridades de superfície e profunda (que pode ser feita implícita ou explicitamente realizada). Embora as similaridades de superfície (as chamadas propriedades descritivas de objetos como cor, forma, tamanho, nomes etc.) sejam geralmente associadas às similaridades de fácil acesso, as quais levariam a uma melhor percepção das similaridades estruturais (similaridades profundas associadas aos aspectos relacionais) entre os domínios análogo e alvo, Vosniadou (1989) destaca que similaridades facilmente acessíveis não precisam ser, necessariamente, somente propriedades descritivas. Para ela, elas podem ser relações abstratas ou propriedades conceituais na medida em que sejam salientes nas representações de base das pessoas. Ela introduz, então, o conceito de *similaridades salientes* para designar aquelas de fácil acesso que podem ser de natureza conceitual ou perceptual, similaridades em propriedades descritivas ou relacionais que dependem somente do *status* que essas propriedades têm com relação às representações de base das pessoas. Sob esse ponto de vista, aquilo que constitui uma similaridade saliente pode, conseqüentemente, mudar com a aquisição de conhecimento pelo indivíduo. Por exemplo, a partir de seus estudos sobre modelos mentais de crianças a respeito da forma da Terra (Vosniadou, 2002; Vosniadou & Brewer, 1992), Vosniadou concluiu que, para muitas delas, perceber a forma esférica da Terra era difícil. Para algumas crianças, a Terra era como um disco achatado. Por outro lado, esses estudos também apontaram que as crianças são muito sensíveis ao movimento de corpos celestes como o Sol e a Lua e sua relação com o ciclo de dias e as noites. Nesse caso, em uma

comparação como aquela entre a Terra e a Lua citada anteriormente, uma propriedade tida como relacional (movimento da Terra relacionado ao ciclo de dias e noites) poderia estar mais prontamente acessível ao raciocínio analógico dessas crianças do que uma propriedade tida como simples e descritiva (forma da Terra ou da Lua). A primeira dessas similaridades seria, então, chamada de similaridade saliente.

Para Holyoak (1985, apud Gentner, 1983) a distinção entre similaridades de superfície e estrutural se baseia na relevância de seu uso na solução de situações-problema. Quando uma identidade entre duas situações-problema não desempenha nenhum papel causal na determinação de uma possível solução para um ou outro análogo, trata-se de uma *similaridade de superfície*. Ao contrário, identidades que influenciam a conquista dos objetivos almejados constituem *similaridades estruturais*.

Além disso, Holyoak, ao definir analogia como uma similaridade com referência a um objetivo, parece demonstrar que aquilo que para Gentner seria definido como uma *similaridade literal*, para ele poderia ser uma *analogia* desde que houvesse um objetivo aparente.

Essas caracterizações são importantes e necessárias para entendermos os processos de transferência analógica destacados a seguir, bem como para nos orientar na fundamentação de nossas análises dos possíveis raciocínios analógicos estabelecidos por alunos e professores nas situações da pesquisa. Antes, porém, discutiremos possíveis confusões na utilização do termo analogia.

Confusões na utilização do termo analogia

Apesar das distinções entre os vários tipos de similaridades apresentarem diferenças estabelecidas pelos diversos autores já citados, na literatura destacada é consensual a utilização do termo analogia para fazer alusão a comparações entre um domínio já conhecido e outro não conhecido. Infelizmente, porém, como destacou Duit (1991), é muito comum a utilização errônea do termo para designar o domínio análogo ao invés da relação analógica.

Outra confusão freqüente diz respeito aos exemplos. Um exemplo, como bem definiram Glynn et al. (1989, p. 385),

“(...) é uma instância de um conceito e não uma comparação entre características similares de dois conceitos.”

Como eles mesmos exemplificaram, o relâmpago não é similar a uma faísca elétrica, ele é uma faísca elétrica, sendo, portanto, um exemplo do conceito de faísca elétrica.

Sendo assim, segundo Treagust et al. (1992), analogias e exemplos se prestam a objetivos similares no processo de aprendizagem na medida em que ambos tornam o não familiar, familiar. Entretanto, enquanto as analogias, explicitamente, estabelecem comparações entre partes de estruturas de um domínio não familiar e outro familiar, os exemplos de domínios familiares ilustram características do conceito, além de servirem, como destacado por Glynn, como instâncias para aquele conceito.

ALGUNS MODELOS DE RACIOCÍNIO ANALÓGICO

De acordo com Gentner e Holyoak (1997), nos últimos anos, muitos cientistas cognitivos têm buscado contribuir para o surgimento de um consenso no que diz respeito à analogia. Nesse sentido, o processo de pensamento analógico tem sido, de uma maneira muito útil, decomposto em sub-processos como seus constituintes básicos:

- *Acesso*: um ou mais análogos relevantes, armazenados na memória, devem ser acessados;
- *Mapeamento* (também chamado de *transferência*): 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 e Avaliação*: o resultado do mapeamento permite inferências analógicas que podem ser feitas sobre o domínio alvo, criando novo conhecimento e preenchendo possíveis falhas no entendimento. Essas inferências necessitam ser avaliadas e, possivelmente, adaptadas para se adequar aos requerimentos únicos do alvo; e às vezes,
- *Generalização*: extensão das inferências a todos os casos a que se possa aplicá-las.

A maioria das teorias atuais sobre raciocínio analógico lida com esses sub-processos, diferindo-se na ênfase que é atribuída a cada um deles. Destacaremos, a seguir, a *teoria de mapeamento estrutural* de Gentner (1983; 1989; 1997), a *multiconstraint theory*² de Holyoak e Thagard (1989; 1997; 1992), o *mecanismo analógico* descrito por Vosniadou (1989) e o *modelo de raciocínio analógico para analogias heurísticas* proposto por Duit e Wilbers (Duit, Roth, Komorek, & Wilbers, 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006), por serem as abordagens mais recorrentes na literatura das áreas de Educação em Ciências e Psicologia Cognitiva.

² Tal expressão foi apresentada em inglês por não existir uma boa tradução em português que expresse adequadamente o significado de "constraint" nesta expressão.

Na teoria de mapeamento estrutural, Gentner afirma que a idéia central é a de que analogia é um mapeamento de conhecimento de um domínio (a base) para outro (o alvo) no qual há uma transmissão de um sistema de relações existente entre os objetos da base e do alvo. A analogia é, portanto, uma maneira de focalizar associações relacionais, independentemente dos objetos aos quais as relações se referem.

Ao interpretar uma analogia, as pessoas procuram colocar os objetos da base em correspondência um a um com os objetos do alvo, a fim de obter a maior combinação estrutural possível (*alinhamento estrutural*). Os objetos são colocados em correspondência em virtude do papel que desempenham na estrutura relacional comum. Assim sendo, não há qualquer necessidade de semelhanças superficiais entre objetos do alvo e seus correspondentes na base. Em resumo, relações devem ser mapeadas, objetos e funções devem estar em correspondência, e semelhanças superficiais devem ser ignoradas.

Outro aspecto central nessa teoria é o chamado *princípio de sistematicidade*, segundo o qual as pessoas preferem mapear sistemas de relações conectados e governados por relações de ordem elevada (relações de relações), tais como causais, matemáticas, ou funcionais, com importação inferencial, ao invés de mapear predicados isolados.

Segundo Gentner e Markman (1997), um exemplo particularmente notável da dominância estrutural na analogia é o *trans-mapeamento*. Trata-se de uma comparação na qual dois cenários análogos contêm objetos similares ou idênticos que desempenham papéis relacionais diferentes nos dois cenários. Esse processo pode ser ilustrado, de maneira simples, pela analogia proporcional:

$$1:3::3:9$$

Nessa comparação, segundo os autores, apesar de existirem dois números três, eles desempenham papéis distintos. Para que a comparação seja verdadeira, ou seja, a proporção seja mantida, o número um deve ser mapeado para o número três, enquanto que o outro número três deve ser mapeado para o número nove. A possibilidade de combinação dos dois números 3 é abandonada, demonstrando uma preferência pela coerência e previsão causais.

Após o alinhamento estrutural, mais inferências associadas ao domínio da base podem ser projetadas para o alvo. Essas são somente suposições cuja correção deve ser checada separadamente.

Ao contrário de Holyoak e Thagard (cuja teoria é descrita abaixo), Gentner considera que os planos e os objetivos daquele que se engaja no mecanismo de raciocínio analógico influenciam seu pensamento inicialmente – ao acessar sua memória funcional na

representação da situação atual – e ao fim da operação – ao avaliar suas inferências – mas não ao longo do curso do processo de mapeamento.

Gentner também destaca a existência de uma mudança de foco nos atributos comuns aos objetos (similaridades de superfície) para o processamento de relações (similaridades estruturais) que ocorre no processo de raciocínio analógico ao longo de seus sub-processos (acesso, mapeamento, inferências, avaliação e armazenamento na memória de algumas inferências sobre o alvo) e que também opera ao longo do desenvolvimento da criança. Isso significa que, enquanto o acesso é uma etapa do raciocínio fortemente influenciada pelas similaridades de superfície, as demais etapas ou não são, ou são fracamente influenciadas por essas, ao passo que sofrem fortes influências das similaridades estruturais. Nesse mesmo sentido, para essa autora, as crianças não possuem o mesmo foco relacional dos adultos ao interpretar analogias e metáforas, pois ocorre uma variação de acordo com a idade – uma vez que com essa variam também as habilidades cognitivas e as experiências das crianças.

A segunda teoria aqui apresentada é a de Holyoak e Thagard. Segundo Gentner e Holyoak (1997), este último se convenceu de que a analogia fornece uma rica abordagem para resolução de problemas. Isso o levou a uma forte preocupação no que diz respeito ao papel de aspectos pragmáticos na analogia – como objetivos atuais e contextuais guiam a interpretação de uma analogia. Motivados por fatores dessa natureza, Holyoak e Thagard elaboraram a “multiconstraint theory”, através da qual consideram que o uso de analogias por pessoas é guiado por um número de fatores que, em conjunto, favorecem a coerência no pensamento analógico. Para eles, existem três classes de fatores fundamentais quando dois análogos são colocados em correspondência e que formam a base da teoria: similaridade semântica, paralelismo estrutural e fatores pragmáticos. Suas influências no pensamento analógico são destacadas a seguir.

Em primeiro lugar, a analogia é guiada, em alguma extensão, por similaridade direta dos elementos envolvidos, ou seja, de acordo com Thagard (1992), elas são correspondências semânticas que envolvem dois análogos, utilizando termos com significados relacionados e similares. Em geral, similaridade de conceitos em qualquer nível de abstração contribui para o pensamento analógico, particularmente no acesso inicial.

Segundo, a analogia é guiada pela pressão da identificação de paralelismo estrutural entre os domínios de fonte e o alvo (Gentner, 1983 apud Gentner & Holyoak, 1997), ou seja, no mapeamento, as pessoas só se utilizam de informações estruturais. Esse fator estrutural – base do mapeamento analógico e de inferências – é uma pressão para o

estabelecimento de um isomorfismo (cada elemento do alvo deve corresponder a somente um elemento da base e dois elementos do alvo não devem corresponder a um mesmo elemento da base). O fator estrutural de isomorfismo, nessa teoria, é tratado como um ideal que pode ser satisfeito com algum grau de imperfeição, ao invés de uma condição absoluta para um mapeamento de sucesso (Holyoak & Thagard, 1989).

Terceiro, os fatores pragmáticos implicam que o pensamento analógico é guiado pelos objetivos do pensador, ou seja, por aquilo que ele pretende alcançar com a analogia. É o objetivo que guia a seleção de um domínio análogo e a identificação dos seus aspectos importantes no contexto, além de focalizar a atenção do pensador sobre os aspectos da situação de alvo que são relevantes para alcançar a solução do problema. Nesse sentido, seu conhecimento sobre os objetivos da analogia é essencial para auxiliá-lo no processo de mapeamento analógico (Holyoak & Thagard, 1989).

Esses três tipos de fatores não operam como regras rígidas que ditam a interpretação da analogia. Ao contrário, eles funcionam como várias forças que guiam o raciocínio analógico criativamente; algumas em convergência e outras em oposição que, em seu constante relacionamento mútuo, pressionam em direção à satisfação de um compromisso interno de coerência. Para ilustrar esses fatores, Thagard (1992) cita a seguinte comparação entre o panda e a televisão (feita, inicialmente, por Dolnick na revista *Discover Magazine*):

“Na evolução como na televisão, não é necessário ser bom. Você tem de ser melhor do que a concorrência.” (Dolnick, 1989, p. 538-539).

Nesse caso, o panda seria o domínio alvo e a televisão seria o domínio fonte (ou análogo) utilizada no entendimento. Ele prossegue:

“Alvo

T1³. Pandas são pobres em alimentação e reprodução.

T2. Existiram poucos organismos (antes dos humanos!) que competiram com os pandas.

T3. Pandas têm sobrevivido.

T4. T2 explica porque T3 é verdade, apesar de T1.

Fonte

S1⁴. Programas de televisão são pobres em informação e entretenimento.

S2. Existiram poucos programas que televisão para competir com eles.

S3. Programas de televisão pobres continuam existindo.

S4. S2 explica porque S3 é verdade, apesar de S1” (Thagard, 1992, p. 538-539).

³ T (do inglês *target*): proposições referentes ao alvo.

⁴ S (do inglês *source*): proposições referentes à fonte ou análogo.

Para demonstrar como os fatores operam no processo de raciocínio analógico, Thagard afirma que não são todos os componentes que podem ser emparelhados com base nas similaridades semânticas: pandas, em geral, não são numerosos como as televisões. Porém, há dois aspectos em que ambos, fonte e alvo, são semanticamente similares: os dois envolvem competição e sobrevivência.

Ele ressalta as correspondências estruturais entre os dois domínios, essenciais à eficiência da analogia, exemplificadas pelo fato de S4 e T4 apresentarem a mesma estrutura global no nível proposicional. Finalmente, conclui que, idealmente, o análogo de fonte deve ter uma boa similaridade semântica, correspondência estrutural e relevância pragmática em relação ao alvo.

O mecanismo analógico descrito por Vosniadou (1989) é caracterizado como um mecanismo no qual a resolução de um problema sobre um determinado sistema alvo (X) envolveria as seguintes etapas:

- “1. Retirada de um sistema fonte (Y) que é similar a X de alguma maneira;
2. Mapeamento de uma estrutura relacional de Y para X;
3. Avaliação da aplicabilidade dessa estrutura relacional para X” (Vosniadou, 1989, p. 422).

Sendo X e Y exemplos de um mesmo conceito fundamental ou X e Y pertencentes a domínios conceituais diferentes, o processo de mapeamento que opera nos dois casos seria o mesmo. Em ambos, uma estrutura explanatória seria mapeada da fonte para o alvo e sua aplicabilidade seria avaliada na base do que é conhecido sobre o conceito alvo. Além disso, em ambos os casos, o acesso a um análogo produtivo deveria ser baseado em similaridades salientes, facilmente acessíveis nos dois sistemas.

Com o desenvolvimento da base de conhecimento, seria possível acessar análogos cada vez mais remotos e perceber relacionamentos estruturais entre sistemas superficialmente não relacionados, mapeando estruturas cada vez mais complexas. Então, embora criticamente limitado pela informação incluída na base de conhecimento, o raciocínio analógico poderia agir como um mecanismo para enriquecimento, modificação e reestruturação radical da própria base de conhecimento.

A quarta visão aqui apresentada é a de Duit e Wilbers (Duit et al., 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006). A partir de pesquisas realizadas por eles no domínio de física sobre o ensino e aprendizagem de sistemas caóticos via raciocínio analógico, eles propuseram um modelo micro-estrutural para este tipo de raciocínio. O modelo parte dos fatos de que o contexto no qual a relação analógica está inserida é essencial e de que, para compreendê-

la, é necessário levar em consideração que os tipos de conhecimentos utilizados e desenvolvidos por professores e alunos são diferentes.

Para eles, na perspectiva dos professores (e autores de materiais instrucionais), analogias são elaboradas a partir da estrutura de conteúdo do conhecimento envolvido, isto é, elas dependem de conhecimentos fundamentados em proposições, sendo chamadas de *analogias post-festum*⁵. Por outro lado, os alunos interpretam os domínios alvo e análogo de modo totalmente diferente, pois ignoram os conceitos científicos e os princípios almejados através da analogia. De sua perspectiva, tudo o que sabem é que entre as várias relações potenciais entre a base e o alvo, eles devem detectar aquela que lhes possibilite um entendimento. Sendo assim, os alunos utilizam *analogias* de uma maneira *heurística*.

Estes pesquisadores propõem que a essência no uso de analogias heurísticas é o conhecimento não proposicional, baseado em informações visuais. A partir do ponto de vista cognitivo, essas analogias dependeriam de imagens (esquemas intuitivos, imagens mentais e modelos mentais) espontaneamente geradas pelos alunos quando eles são inicialmente confrontados com o alvo (acesso). Os esquemas intuitivos e modelos mentais (imagens mentais) levariam a uma ligação associativa preliminar entre o alvo e a base. O processo subsequente da construção analógica seria guiado por essas associações espontaneamente geradas. A analogia seria, então, um meio de construção de hipóteses com base em modelos mentais e esquemas intuitivos provocados pelo fenômeno alvo. Esse processo de construção analógica que satisfaz a uma exploração heurística do alvo utiliza um análogo (base) melhor conhecido, o qual fornece alguma “proto-teoria” para um alvo ainda não explorado (figura 2). Isso implica que as analogias heurísticas funcionariam mais como uma ferramenta de geração de hipóteses do que de seu suporte.

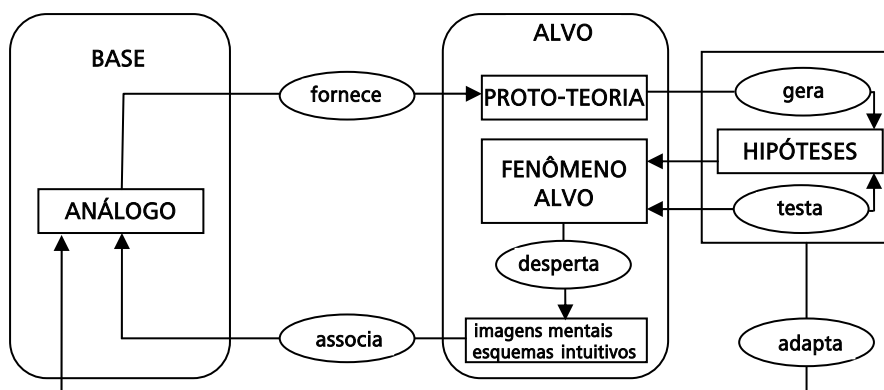


Figura 2. A analogia heurística: um modelo do raciocínio analógico. (Wilbers & Duit, 2006, p. 46)

⁵ *Post festum* [lat.]. Frase que denota que algo acontecerá posteriormente. No contexto do trabalho desses autores, refere-se à geração de uma analogia após ter-se construído uma estrutura conceitual a qual a analogia objetiva.

CRÍTICAS ÀS TEORIAS DE MAPEAMENTO ANALÓGICO

Apesar do consenso com relação à existência de sub-processos que compõem o raciocínio analógico, ainda há muitas controvérsias com relação à maneira como eles operam. Duit e Wilbers (Duit et al., 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006) destacam que as abordagens do mapeamento estrutural e da “multiconstraint theory”:

- não distinguem entre analogias *post-festum* e heurísticas;
- consideram que representações mentais de estruturas proposicionais da base e do alvo são o ponto de partida do raciocínio analógico (a perspectiva *post-festum* parece ser dominante);
- conceituam mapeamento exclusivamente como uma transferência da base para o alvo, sem levar em consideração a natureza simétrica da relação analógica;
- concedem limitada atenção aos aspectos criativos da analogia, pois, baseiam-se numa detecção objetiva e antecipada de correspondências entre a base e o alvo, o que não condiz com situações educacionais;
- consideram, sob a perspectiva da semiótica representacional, que as analogias são como sinais que contêm as informações que o professor almeja transmitir, como se fossem “recipientes” transportadores de idéias.

Vosniadou (1989) também faz críticas a essas teorias, argumentando que uma informação que é considerada como atributo de objetos (similaridade de superfície) pode ter um difícil acesso, enquanto outras informações relacionais podem estar prontamente acessíveis àquele que raciocina analogicamente. Essas informações são as chamadas *similaridades salientes*, definidas anteriormente.

A partir dessas considerações, a distinção entre as similaridades superficial e profunda seria algo dinâmico porque, no processo de aquisição de conhecimento, as propriedades das representações fundamentais das pessoas, as quais são salientes e, portanto, fáceis de serem acessadas, poderiam mudar. Além disso, o que pode ser considerado propriedades profundas em representações conceituais de alunos pode ser saliente e, então, facilmente acessível aos especialistas (Vosniadou & Brewer, 1987). Para Vosniadou (1989), isso significa que não é o mecanismo analógico em si que se desenvolve da criança para o adulto (*mudança desenvolvimental*), como propõe Gentner, mas o sistema conceitual sob o qual esse mecanismo opera.

Vosniadou também critica a preocupação de Gentner em caracterizar afirmações de similaridade estática como ‘o sistema solar é como o átomo’, ao invés da caracterização do

processo de raciocínio analógico. Para ela, sob o ponto de vista de Gentner, a distinção entre comparações dentro do mesmo domínio e entre domínios diferentes teria certas implicações em termos da definição de analogia. Por exemplo, afirmações de similaridade dentro do mesmo domínio como ‘cachorrinhos são como gatinhos’ não poderiam ser consideradas analogias, pois compartilham atributos de objeto, mas não de relações. Para Gentner, similaridades assim são *comparações de mera aparência*.

Ainda segundo Vosniadou, quando se trata de caracterizar o processo de raciocínio analógico, entretanto, esse tipo de distinção entre comparações não teria tais implicações. Raciocínio analógico poderia ser empregado entre dois itens de uma mesma categoria fundamental se isso envolvesse a transferência de uma estrutura explanatória de um item para o outro (uma analogia como ‘cachorrinhos são para cachorro assim como gatinhos são para gato’ seria válida).

Quanto à “multiconstraint theory”, Vosniadou e Ortony (1989) observam que embora planos e objetivos (fatores pragmáticos) possam ter um papel importante em um acesso analógico, há dúvidas de que eles possam ser completamente responsáveis pelo acesso. Os autores ressaltam que, freqüentemente, nem crianças nem adultos representam os problemas em um nível suficientemente abstrato para que sua solução, a partir da *indexação baseada em plano*⁶, seja bem sucedida. Além disso, quando eles chegam a esse tipo de solução, às vezes têm acesso a esquemas ou conceitos específicos de ordem superior que tornariam a aplicação de raciocínio analógico desnecessária.

Vale ressaltar que, sob nosso ponto de vista o raciocínio analógico é um processo comparativo relacional por natureza. O produto desse processo é o estabelecimento de analogias ou similaridades literais, pois ambas, como discutido anteriormente, são regidas pelos mesmos princípios de alinhamento estrutural e mapeamento (Gentner & Markman, 1997). A partir daí, concluímos que o estabelecimento de *comparações de mera aparência*, dados os fundamentos desse tipo de similaridade, não seria caracterizado como um pensamento analógico.

A única suposição básica comum às abordagens teóricas aqui apresentadas é a de que mapeamento analógico envolve a busca por correspondências estruturais que relacionem os domínios análogo e alvo. Não existe concordância com relação à maneira pela qual esse mapeamento se processa e nem mesmo quanto aos fatores que determinam

⁶ Idéia expressa no modelo computacional desenvolvido por Holyoak e Thagard a partir da qual, quando o problema não pode ser resolvido com referência a regras ou esquemas gerais existentes, as pessoas procuram por um análogo que possa fornecer uma solução para o problema, satisfazendo os objetivos do mesmo e sem violar os fatores que influenciam na solução do alvo.

o acesso a ou a preferência de um indivíduo por um domínio análogo específico. As propostas de explicações para os mecanismos que guiam o raciocínio analógico, portanto, são controversas e necessitam ser mais bem esclarecidas dada a importância já apontada desse tipo de pensamento.

ANALOGIAS NA CIÊNCIA

Analogias são modelos (em função de serem representações parciais de idéias) largamente utilizados na ciência, pois ajudam cientistas a entender fenômenos abstratos, produzir novos conhecimentos e comunicar suas idéias. Existem inúmeros exemplos da utilização desse recurso na história da ciência como as analogias propostas por Kepler e citadas no trabalho de Gentner e Markman (1997) que são descritas a seguir.

Em 1596, ao estudar as leis do movimento planetário, Kepler se fez a seguinte pergunta: Por que os planetas mais externos se movimentam mais lentamente do que os planetas mais internos? De acordo com os modelos existentes na época, o movimento era causado por espíritos planetários ou almas que impeliavam os planetas no seu curso. Kepler notou que uma possibilidade era de que os espíritos que movimentavam os planetas mais externos fossem mais fracos do que os espíritos que movimentavam os planetas mais internos. Mas, ao contrário disso, ele propôs a idéia radicalmente nova de que existia um espírito, ou poder, emanando do Sol que movia todos os planetas, isto é, que o Sol é que causava o movimento dos planetas.

Nessa interpretação causal, que foi além da proposta original de Copérnico⁷, Kepler notou outra regularidade: cada planeta individual se movia mais rápido em sua órbita quanto mais próximo do Sol ele estivesse.

Ele tinha chegado a uma importante idéia, precursora da gravidade, mas não sem uma objeção que parecia fatal: para que o Sol movimentasse os planetas seria necessária uma ação à distância, noção que na época não era aceita por nenhum físico (incluindo Newton).

A resposta de Kepler a esse desafio foi considerar uma analogia com a luz. Em sua *Astronomia Nova – The New Astronomy 1609/1992* (apud Gentner & Markman, 1997), Kepler desenvolveu a seguinte analogia entre a força motora e a luz: se a luz pode viajar entre a fonte e o destino, ainda iluminando o seu destino, então também a força motora

⁷ Copérnico propôs que era a Terra e os outros planetas que se movimentavam ao invés do sol, como se pensava anteriormente.

poderia não ser detectada em seu percurso do Sol ao planeta, embora afete o movimento deste último, uma vez que ela chega ao planeta. Mas Kepler não estava satisfeito com essa simples prova baseada em possibilidade e desenvolveu ainda mais a analogia. Ele a utilizou para compreender porque a força motora diminui com a distância: como a luz da lâmpada brilha mais em objetos mais próximos do que em objetos mais distantes, assim também, ocorre com a força motora do Sol. A força motora (como a luz) não é perdida porque ela é dispersa, mas ela se distribui sobre uma área maior. Kepler (1609/1992) então argumentou:

“A emissão, então, da mesma maneira que a luz, é imaterial, diferente de odores, os quais são acompanhados pela diminuição de substância e diferente do calor de uma fornalha quente ou qualquer coisa similar que preencha o espaço entreposto” (apud Gentner & Markman, 1997, p. 381).

Odor e calor foram por ele utilizados como análogos potenciais que diferem com relação ao comportamento chave da luz, servindo para afiar o paralelo entre esta e a força motora.

O modelo analógico de Kepler enfrentou mais desafios. Ele precisava explicar porque, dada a força emanada do Sol, os planetas se moviam mais próximos e mais afastados em sua órbita em vez de manter uma distância constante em relação ao Sol. Para vencer mais esse desafio, ele novamente utilizou uma analogia. Desta vez, invocou a analogia do ‘barqueiro’ para explicar o movimento de entrada e saída dos planetas, postulando que o Sol girava em torno de seu eixo, criando um redemoinho de força motora que empurrava os planetas. Como o condutor de uma balsa pode direcionar seu barco (os planetas) para frente e para trás ortogonalmente em relação à corrente do rio, os planetas poderiam se movimentar para dentro e para fora somente com uma corrente lateral constante de força motora.

Segundo os autores, embora Kepler tenha trabalhado nessa analogia por décadas, ele nunca ficou satisfeito, já que ela parecia ter limitações em relação à idéia de como os planetas se direcionavam. Numa outra analogia bem explorada, ele comparou o Sol e os planetas a dois ímãs que se aproximavam ou se repeliam um ao outro, dependendo de quais pólos são aproximados.

Esses exemplos demonstram, como afirmado por Johnson-Laird (1989) ao tratar de analogias profundas (como as que foram produzidas por Kepler), que tais analogias demandam pensamentos genuinamente criativos. Para ele, um ato de criação como esse – que não foi construído mecanicamente ou mesmo por outro processo determinístico que satisfaça algum critério pré-existente ou limitação – origina um produto que é novo para o indivíduo que o produziu.

Nesse sentido, a análise dos exemplos citados demonstra que, além de inovações científicas, a proposição de analogias profundas cumpre um de seus papéis fundamentais na ciência: o de tornar explícitos conceitos e/ou idéias provenientes de domínios desconhecidos ou pouco conhecidos, facilitando assim a comunicação dessas idéias.

ANALOGIAS NA APRENDIZAGEM E ENSINO DE CIÊNCIAS

Sob o ponto de vista construtivista, aprender é um processo de construção ativa e que só é possível com base no conhecimento previamente adquirido. Em outras palavras, podemos dizer que, nessa perspectiva, aprender é um processo de “ativamente empregar o já familiar para entender o não familiar” (Duit, 1991, p. 652).

Nesse mesmo sentido, Vosniadou e Ortony (1989) ressaltam que o raciocínio humano nem sempre opera na base de regras gerais de inferências livres de conteúdo, mas, ao contrário, está freqüentemente ligado a corpos específicos de conhecimento e é grandemente influenciado pelo contexto no qual ele ocorre. Em sistemas de raciocínio desse tipo, aprendizagem não se realiza por meramente adicionar novos fatos e aplicar as mesmas regras de inferências a eles. Ao invés disso, aprendizagem de sucesso freqüentemente depende da habilidade de identificar os corpos de conhecimento mais relevantes que já existem na memória, para que esse conhecimento possa ser usado como ponto de partida para aprendizagem de algo novo.

Baseadas em conceitos, relações e imagens já acessíveis aos alunos, as analogias tornam-se, então, fundamentais no processo de construção da aprendizagem de acordo com as abordagens construtivistas.

No caso da aprendizagem de ciências como a química, em que os aspectos novos a serem entendidos pelos alunos são, em sua maioria absoluta, abstratos, o uso de analogias mostra-se relevante. Por esse motivo, existe uma grande defesa na literatura referente ao ensino de química e de outros ramos da ciência (como a física, a biologia e a geografia) através da utilização e geração de analogias com os objetivos de facilitar o entendimento dos alunos, a aquisição de novos conhecimentos e a modificação de concepções alternativas (Blanchette & Dunbar, 2002; Brown & Clement, 1989; Clement, 1993; Coll, 2006; Cosgrove, 1995; Harrison & Treagust, 2006; May, Hammer, & Roy, 2006; Mendonça, Justi, & Oliveira, 2006; Monteiro & Justi, 2000; Oliva, Aragón, Mateo, & Bonat, 2001; Thiele & Treagust, 1991). Conceitos como estrutura atômica e ligação química, considerados conceitualmente difíceis pelos alunos, são os que o ensino mais se beneficiaria do uso de

analogias, segundo Coll (2006). Ele afirma que, interessantemente, estes são os mesmos temas para os quais os cientistas fazem uso de analogias com o objetivo de ajudá-los a entender os conceitos e a expressar suas idéias sobre eles. Portanto, ao ensinarmos através de analogias, estamos seguindo os mesmos passos dos cientistas na construção de entendimento de fenômenos abstratos.

Devido à consciência do papel que as analogias podem desempenhar no ensino de ciências, várias abordagens foram desenvolvidas para seu uso como:

- modelo geral de ensino através de analogias (GMAT – *General Model of Analogy Teaching*) de Zeitoun (1984), constituído de nove estágios que se destinam, basicamente, a avaliar o material instrucional e a analogia utilizada e, posteriormente, os resultados do processo de ensino via analogia;
- modelo ensinando com analogias (TWA – *Teaching with Analogies*) de Glynn (1991), constituído de seis estágios que se relacionam à gênese da analogia, à sua aplicação para gerar conclusões que permitam entender melhor o alvo e realizar previsões e ao estabelecimento das diferenças entre o alvo e o análogo e das limitações da analogia; e
- abordagem de construção de analogias pontes (*bridging analogies*) de Brown e Clement (1989), estratégia que consiste na apresentação de uma situação intermediária entre a base e o análogo que ajude a compreender as semelhanças entre eles na tentativa de facilitar, através de sucessivas discussões, a transição da base para o alvo através de um processo de solução contínua.

Como destacado por Oliva et al. (2001), na maior parte das vezes, a metodologia empregada no ensino de ciências não tem diferido muito de uma mera transmissão/recepção de conhecimentos já elaborados. Desta maneira, as analogias são apresentadas como modelos ou produtos já acabados que os alunos podem e devem entender na direção pretendida pelo professor.

Os autores advertem que, se levarmos em consideração as premissas construtivistas da aprendizagem, devemos pensar que as analogias são reinterpretadas pelos alunos a partir de seus esquemas iniciais e, por isso, nem sempre são entendidas na direção que se pretende. Esses aspectos também são tratados na proposta de ensino de Brown e Clement (1989) via construção de analogias pontes, na qual eles ressaltam que uma das condições básicas de êxito na aprendizagem dos alunos através das analogias é a sua participação ativa na construção dessas analogias guiada pelo professor.

Segundo Duit (1991), as analogias podem servir de forma significativa ao desenvolvimento da ciência, pois cumprem as funções explanatória (tornam claros aspectos desconhecidos através de associações com aspectos conhecidos) e heurística (podem desempenhar o papel pedagógico de levar o aluno, através das associações que proporcionam, à elaboração de modelos coerentes com os modelos científicos consensuais). Concordando com esta idéia e considerando que o papel da escola não é somente o de ensinar conhecimento científico, mas também o meta-conhecimento científico⁸, afirmamos que o papel das analogias no ensino e na aprendizagem de ciências é fundamental nesse processo.

Potencialidades e problemas na utilização de analogias

O uso de analogias, como qualquer outra ferramenta de ensino, apresenta vantagens e desvantagens, ou risco potenciais, inerentes à sua utilização. Alguns desses aspectos foram levantados por Duit (1991), através de uma revisão bibliográfica da literatura da área. As vantagens seriam:

- “1. Elas são valiosas ferramentas na aprendizagem através de mudança conceitual, à qual abrem novas perspectivas.
2. Elas facilitam o entendimento do abstrato, apontando para similaridades no mundo real.
3. Elas podem fornecer visualização do abstrato.
4. Elas podem despertar o interesse dos estudantes e, então, motivá-los.
5. Elas fazem com que o professor leve o conhecimento prévio do aluno em consideração” (Duit, 1991, p. 666).

Outras vantagens das analogias também foram destacadas por diferentes autores como as que se seguem:

- elas podem ser utilizadas para fazer previsões com relação a alguns aspectos do domínio alvo (Glynn et al., 1989);
- *analogias com função criativa* (Glynn et al., 1989) podem ajudar a descobrir novos problemas e gerar hipóteses sobre suas soluções;
- elas têm sido reconhecidas por cientistas, filósofos e psicólogos como tendo o potencial de trazer conhecimento anterior para lidar com aquisição de uma informação, às vezes, radicalmente nova (Vosniadou, 1989). Nesse sentido,
- elas podem se tornar um importante mecanismo de aquisição de novo conhecimento (Vosniadou & Ortony, 1989);

⁸ Por meta-conhecimento científico, entendemos o conhecimento que transcende o conhecimento científico e que se fundamenta em uma reflexão crítica sobre este.

- elas podem ser um mecanismo cognitivo para atualizar representações, ou seja, sua utilização pode promover alterações nas representações do domínio alvo (Blanchette & Dunbar, 2002).

Por outro lado, as desvantagens e potenciais riscos no seu uso seriam:

- “1. Uma analogia nunca é baseada num exato encaixe entre a base e o alvo. Sempre há aspectos da estrutura do análogo que são diferentes daqueles do alvo. Existem características que podem enganar.
2. O raciocínio analógico só é possível se as analogias desejadas realmente forem estabelecidas pelos estudantes. Se os estudantes mantiverem concepções errôneas no domínio análogo, o raciocínio analógico as transferirá para o domínio alvo. É, por isso, importante assegurar que as analogias desejadas realmente sejam estabelecidas pelos estudantes.
3. Embora raciocínio analógico pareça ser muito comum em ambos, vida diária e outros contextos, o uso espontâneo de analogias fornecidas pelos professores ou aprendidas na mídia raramente acontece. Em situações de aprendizagem, raciocínio analógico requer considerável orientação. O acesso a analogias fornecidas é facilitado por similaridade de superfície e aspectos estruturais profundos. Mas, apenas os aspectos estruturais profundos têm poder inferencial” (Duit, 1991, p. 666-667).

Outros problemas na utilização das analogias também foram detectados:

- às vezes o análogo não é suficientemente familiar. Pode ocorrer também que os alunos não vejam a sua utilidade e, mesmo que aprendam, não o utilizem, nem compreendam o seu valor (Duit, 1991);
- normalmente a analogia é apresentada como algo pronto e acabado que deve ser evidente e convincente para os alunos (Glynn et al., 1989).

Caracterizarmos os possíveis problemas e vantagens relativos ao uso das analogias como ferramentas de ensino e aprendizagem torna-se primordial nesse trabalho, cujo foco se encontra nas analogias estabelecidas por professores e alunos.

Analogias e professores de ciências

O papel dos professores no sentido de guiar os alunos no estabelecimento e interpretação de analogias que os ajudem a entender os modelos científicos consensuais é de suma importância para o sucesso do processo de ensino-aprendizagem. Além disso,

“podemos constatar que o esforço de alguns professores em facilitar a aprendizagem de seus alunos, leva-os a elaborar explicações com o uso da linguagem não formal que acaba por constituir novas formas de abordagem de conceitos científicos, novas configurações cognitivas, não necessariamente equivocadas ou permeadas por obstáculos epistemológicos. Ao contrário, são formas que facilitam a compreensão de conceitos, inclusive pela comunidade científica.” (Lopes, 1997, p. 566).

Portanto, ao estabelecer analogias com o intuito de facilitar a compreensão dos alunos, os professores podem produzir conhecimentos significativos não só para os aqueles como também para os próprios cientistas.

Um ensino efetivo através desse tipo de abordagem só é possível se, como salienta Taber (2003), o professor tem familiaridade com as estruturas de conhecimento pessoal dos alunos, bem como a estrutura pública formal do conhecimento científico. Nesse sentido, segundo observado por Duit (1991) e Thiele e Treagust (1994), para o uso cotidiano e efetivo de analogias é necessário que o professor disponha de um repertório bem preparado e com uma validade constatada das analogias que serão por ele utilizadas como pontes entre o conhecimento prévio do aluno e o conhecimento científico desejado.

Na prática da sala de aula, porém, na maioria das vezes isso não acontece. Para Taber e Watts (apud Taber, 2003), uma das causas do insucesso é a linguagem antropomórfica utilizada por professores e cientistas para descrever assuntos de ciências que eles acreditam que será interpretada pelos alunos de acordo com o sentido metafórico que ela carrega. Todavia, geralmente os alunos dão um sentido literal à sua fala ao invés de reconhecer as simplificações e aspectos metafóricos utilizados.

Nesse mesmo sentido, Duit et al. (2001) destacam que dentro de uma comunidade prática, seus membros compartilham um conhecimento tácito no qual contextualizam suas analogias e que nessas comunidades existe um alto grau de inter-subjetividade dentro do qual as analogias e as relações analógicas são claramente definidas e compreendidas. O grande problema para os autores é que as analogias utilizadas pelos professores em situações instrucionais possuem relações analógicas com significado claro e fixo do ponto de vista do professor, mas não do aluno.

Nesse mesmo sentido, professores que participaram de uma pesquisa realizada por Treagust et al. (1992) reconheceram que enquanto professores (ou cientistas) podem ser capazes de compreender uma analogia, os alunos podem não o ser, devido ao grande salto conceitual que necessitariam para que essa compreensão ocorresse.

Apesar das dificuldades constatadas com relação ao compartilhamento e/ou comunicação de significados entre professores e alunos por intermédio das analogias, Dagher (1995a) salienta, a partir de uma análise das analogias empregadas por professores no contexto da sala de aula, que elas podem representar uma janela para acessar os valores e crenças desses professores, suas preocupações, conteúdo pedagógico e sua habilidade de se engajar com seus alunos. Então, se considerarmos que no processo de ensino e aprendizagem de ciências é essencial que o aluno construa as relações analógicas que o

professor almeja (Wilbers & Duit, 2006), torna-se fundamental investigar também como esses professores estabelecem suas próprias analogias, o que poderá abrir-nos um leque de informações num campo ainda pouco investigado.

Analogias e alunos de ciências

Como mencionado no item anterior, as analogias entendidas pelos alunos são, geralmente, diferentes daquelas estabelecidas por professores e, muitas vezes, os alunos podem nem mesmo perceber a existência de alguma relação analógica entre os domínios relacionados (Duit et al., 2001).

Em uma pesquisa realizada sobre o ensino de ligação metálica através da analogia do “mar de elétrons”⁹ (Carvalho, 2004; Carvalho & Justi, 2005), constatamos que os “alunos parecem aceitar a metáfora de ‘mar’ sem críticas” e parecem “desenvolver a idéia de cátions e/ou elétrons flutuando, nadando, etc. em um mar” (Taber, 2003, p. 751). Esses são exemplos de situações em que os alunos tendem a estabelecer relações analógicas diferentes daquelas estabelecidas pelo professor. Acreditamos que isto acontece porque as analogias não são transferidas diretamente da estrutura de conhecimento dos professores para a dos alunos, mas passam por algum tipo de transformação ou reestruturação de conceitos e esquemas conceituais em e sobre a ciência (Dagher, 1995a). Ou seja, enquanto tentam compreender os conceitos científicos ou solucionar problemas a eles relacionados, os alunos elaboram modelos mentais (Gilbert & Boulter, 1995), processo no qual utilizam analogias.

De acordo com as metodologias utilizadas na Psicologia Cognitiva para investigar as representações dos sujeitos, representações mentais podem ser modeladas a partir de *comportamentos* e *verbalizações* dos mesmos, partindo-se do pressuposto de que podemos acessar essas representações internas, mesmo que parcialmente, através de suas representações externas (Greca, 2006). Portanto, uma das maneiras a partir das quais os alunos podem expressar seus modelos mentais é através da construção de analogias, situação em que eles estabelecem suas próprias relações de similaridade, como relatado, por exemplo, por Mendonça, Justi e Oliveira (2006). Como observou Coll (2006), essa é uma tarefa de investigação intrinsecamente difícil dada a natureza pessoal desses modelos, que podem ser expressos de maneira incompleta e desordenada, mas que, ao mesmo tempo, podem fornecer bons indicativos de como os alunos atribuem significado às informações

⁹ Segundo essa analogia, nos metais os elétrons de valência (elétrons mais externos dos átomos) se movimentam livremente entre os íons metálicos (átomos carregados) como se fossem um mar no qual tais íons estariam submersos.

compartilhadas em um ambiente de ensino e aprendizagem.

PESQUISAS SOBRE ELABORAÇÃO DE ANALOGIAS POR ALUNOS E PROFESSORES

A análise da literatura nos permite constatar que existem poucos estudos sobre alunos utilizando analogias espontaneamente ou gerando suas próprias analogias (Cosgrove, 1995; Kaufman, Patel, & Magder, 1996; Mendonça et al., 2006; Pittman, 1999; Wong, 1993). Entretanto, os poucos estudos conduzidos nestas perspectivas demonstraram que

os alunos serem instruídos a criar, aplicar e modificar suas próprias analogias – em oposição à mera aplicação de analogias específicas apresentadas por outrem – contribui positivamente à auto-regulação de suas explicações sobre os fenômenos científicos e, em geral, favorece o avanço na compreensão conceitual dos fenômenos científicos (Oliva et al., 2001, p. 457).

Em sua pesquisa, Wong (1993) investigou analogias geradas por alunos de licenciatura de diversas áreas de educação (física, química, geologia, biologia, língua estrangeira, inglês) na tentativa de entender os princípios físicos que governavam um dispositivo pistão/cilindro de uma seringa. A grande contribuição dessa investigação foi a introdução da idéia de que os indivíduos, ao elaborarem suas próprias analogias a partir de seu conhecimento prévio (mesmo que incompleto e mal organizado), podem passar por um crescimento conceitual que emerge de um refinamento contínuo desse conhecimento prévio. Nesse sentido, essas *analogias generativas*, como são chamadas, são ferramentas que facilitam o entendimento ao invés de representações de explicações corretas ou soluções.

Outra pesquisa na mesma linha foi realizada por Kaufman et al. (1996) que caracterizaram o uso de analogias espontâneas por médicos e estudantes de medicina no raciocínio sobre conceitos relacionados a propriedades mecânicas de fisiologia cardiovascular. As analogias foram feitas em resposta a questões de diferentes níveis de abstração. Os resultados indicaram que as analogias geradas pelos sujeitos facilitaram explicações de diversas maneiras, incluindo a criação de representações coerentes de novas situações, superação de falhas no entendimento e o estabelecimento de associações que resultou em modificação das explicações.

Ainda com relação à elaboração de analogias por parte dos alunos, na pesquisa de Mendonça et al (2006), após terem estudado ligações químicas, os alunos foram solicitados a criar uma analogia para ligação química e, posteriormente, a identificar suas limitações. A

análise das respostas possibilitou a identificação de inúmeras concepções incoerentes dos alunos. Assim, a professora pode intervir no processo de ensino e aprendizagem discutindo tais concepções dos alunos e contribuindo para a aprendizagem dos mesmos.

Apesar de os resultados dessas poucas pesquisas serem animadores com relação aos ganhos conceituais, pouco se sabe ainda sobre os fundamentos desses raciocínios analógicos, sejam eles de êxito ou não.

Com relação ao número de pesquisas sobre analogias geradas por professores na área de ciências, o cenário também não é muito amplo. Thiele e Treagust (1994), em uma investigação sobre a utilização de analogias por professores no ensino de química, detectaram que esses raramente planejam antecipadamente suas analogias e têm a tendência de extraí-las de sua própria experiência ou de suas leituras profissionais. No contexto das aulas observadas, as analogias foram utilizadas quando os professores consideraram que os alunos não conseguiram compreender a explicação inicial. Esse último resultado foi também obtido em uma pesquisa realizada com professoras de biologia por Ferraz e Terrazzan (2002) que perceberam que o maior medo das professoras pesquisadas de usar as analogias por elas geradas era o de que seus alunos pudessem reter mais o conceito análogo em detrimento do alvo e que, quando fossem solicitados a fornecer uma explicação, propusessem o análogo. Os autores ressaltaram que tais argumentos podem justificar o receio, de muitos professores, em usar analogias como recurso didático.

Na educação em ciências, conforme destacado por Thagard (1992) professores de química parecem ter uma preferência particular por elaborar analogias com assuntos diários da vida cotidiana de seus alunos. Ele cita como exemplo a analogia comumente estabelecida entre as ligações químicas que mantêm os átomos unidos e uma corda segurada por duas pessoas na brincadeira de cabo de guerra. Sob o ponto de vista da "multiconstraint theory", ele ressalta que esse tipo de comparação tem a vantagem de os alunos conhecerem a fonte, mas pode trazer também o risco de não ser muito similar semântica e estruturalmente ao alvo.

Outro aspecto destacado na pesquisa realizada por Treagust et al (1992) é o de que os professores nem sempre diferenciam exemplos de analogias. Os autores destacaram que, dado o similar objetivo de analogias e de exemplos no processo de aprendizagem (de tornar o não-familiar, familiar), essa falha na diferenciação não é surpreendente para professores que não tenham tido uma educação formal sobre o uso de analogias no ensino.

Diante desse quadro e levando-se em consideração a escassez de pesquisas sobre o tema e a importância de se obter mais dados empíricos que permitam avançar no

entendimento dos processos que fundamentam o raciocínio analógico, torna-se evidente a necessidade do desenvolvimento de mais investigações. Ao mesmo tempo, os resultados já existentes justificam possíveis direcionamentos para as investigações futuras.

Alguns desafios para a investigação dos processos analógicos

Conforme observou Wong (1993), estudos psicológicos têm, tipicamente, retratado o raciocínio analógico como um processo de transferência de esquemas de um domínio familiar do entendimento para uma situação problema. Esses estudos usualmente examinam raciocínio analógico em contextos nos quais: (i) indivíduos possuem ou lhes é fornecido um esquema apropriado de problema específico; (ii) a natureza do problema e/ou a sua solução são bem definidos; e (iii) analogias ideais são fornecidas ou sugeridas por uma fonte externa.

Acreditamos, na contramão da maioria dos estudos realizados sobre a utilização de analogias no ensino, que o fato de não delimitarmos o domínio análogo nos abre possibilidades mais amplas de entendimento das maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem seus raciocínios analógicos. Isto, por sua vez, vai além de uma investigação sobre as condições que determinam o sucesso de mapeamento e transferência analógicos e, portanto, a solução de um problema específico, ou sobre as concepções alternativas que fundamentam o raciocínio.

Partindo-se desses pressupostos, nosso estudo examina o raciocínio analógico em dois contextos diferentes, porém inter-relacionados, a saber:

- a elaboração de um domínio análogo e o estabelecimento de analogias por parte dos alunos a partir de um conhecimento incompleto ou mal organizado do domínio alvo;
- a elaboração de, ou acesso a um domínio análogo, e o estabelecimento de analogias por professores para explicar o mesmo domínio alvo apresentado para os alunos.

Ao tentarmos esclarecer possíveis mecanismos de raciocínio analógico poderemos contribuir para a ampliação, num futuro próximo, de nossa compreensão sobre como os alunos fazem uso de suas próprias analogias em sua aprendizagem e sobre como os professores fazem uso de analogias com propósitos de ensino e promoção do desenvolvimento conceitual de seus alunos, desafios estes já apresentados por pesquisadores como Dagher (1995a), Pittman (1999), e Vosniadou e Ortony (1989). Para eles:

“(...) porque julgamentos de similaridade são baseados nas representações de entidades das pessoas, qualquer desenvolvimento no entendimento da estrutura do sistema de similaridade estará relacionado ao desenvolvimento no entendimento de como conceitos são representados e como sua estrutura conceitual muda com a aquisição do conhecimento” (Vosniadou & Ortony, 1989, p. 16).

QUESTÕES DE PESQUISA

A partir da análise dos modelos propostos para o raciocínio analógico, das considerações encontradas na literatura sobre a importância de se investigar as similaridades elaboradas pelos alunos para melhorar nosso entendimento da função destas no desenvolvimento do seu conhecimento sobre o mundo natural e tecnológico, e da escassez e necessidade de pesquisas sobre as analogias estabelecidas por professores, foram elaboradas algumas questões que norteiam esse trabalho. Elas são definidas como:

- Como os alunos estabelecem analogias sobre um determinado tema antes e após a instrução sobre o mesmo?
- Como os professores de ciências estabelecem analogias destinadas a situações de ensino?
- Quais as possíveis semelhanças e diferenças nos processos de estabelecimento de analogias por professores e alunos?

Nosso objetivo geral seria, assim, investigar as possíveis maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem analogias. A partir daí, esperamos discutir as implicações de nossas conclusões no processo de ensino e aprendizagem de ciências.

CAPÍTULO 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

COLETA DE DADOS

No processo de coleta de dados foram realizadas entrevistas com professores de Química de algumas instituições de ensino, alunos da oitava série do fundamental e com o professor de Física desses alunos sobre o tema “ligação química”.

Em função de nosso objetivo de investigar o estabelecimento de analogias pelos alunos e, mais especificamente, a influência do conteúdo nesse processo, foi necessário selecionar um tema que fosse ensinado no final do primeiro ou início do segundo semestre. Isso atenderia nossa necessidade de realizar as entrevistas em dois momentos: pré-instrução, no primeiro período, e pós-instrução, no segundo período do ano letivo.

Dentre os temas que satisfaziam tal critério, a escolha de “ligação química” foi feita, então, considerando que pesquisas na literatura (por exemplo, Coll, 2006; Thagard, 1992) indicam que, por ser este um tema conceitualmente abstrato, está mais sujeito ao uso de analogias por parte dos alunos e dos professores.

A opção pela seleção da amostra entre os sujeitos que já eram alunos da pesquisadora foi influenciada por fatores considerados facilitadores de alguns aspectos da pesquisa como: o controle pela própria pesquisadora do conteúdo e da maneira como este foi ministrado; a boa relação existente entre a pesquisadora e os alunos, fundamental para a condução das entrevistas; e a compatibilidade de horários entre ela e seus alunos.

A seleção dessa amostra foi realizada a partir das explicações relativas à pesquisa (seus objetivos gerais e duração) fornecidas pela pesquisadora e de sua solicitação por voluntários nas três turmas de oitava série em que trabalhava na época da coleta de dados.

Aqueles que, após receberem as devidas informações, se habilitaram a participar da pesquisa, receberam Termos de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE destinados a eles e a seus responsáveis (Anexos 2 e 3) aprovados pelo Comitê de Ética na Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais. Um TCLE também foi destinado à direção da escola na qual a pesquisa foi desenvolvida (Anexo 1).

Somente após a entrega daquele termo devidamente assinado pelos alunos, seus responsáveis e pela direção da escola, as entrevistas foram agendadas de acordo com as disponibilidades de ambos, pesquisadora e alunos, e fora do período de aulas.

Optamos por realizar as entrevistas na instituição de ensino em que os alunos estudavam por diversos fatores: pelo fato de ser um ambiente comum à pesquisadora e aos alunos; pela facilidade de os alunos comparecerem às entrevistas, pois a maioria deles mora perto da escola; pela confiança que os pais teriam em deixar os filhos participarem sabendo que a entrevista ocorreria no ambiente conhecido da escola; e pelo fato de que, em ambientes escolares, os alunos estão acostumados a responder perguntas e a interagir com o professor, o que, segundo Delval (2002) pode ser um facilitador para obter informações através da entrevista. Além disso, a escolha desse ambiente natural dos adolescentes pode, como apontado por Tammivaara & Enright, 1986 (apud Brenner, 2006), atenuar a situação de poder diferencial existente entre o entrevistador e o entrevistado na entrevista na qual o entrevistador, presumivelmente, controla os objetivos e as questões a serem feitas.

No caso dos professores, a seleção ocorreu a partir dos contatos da pesquisadora no meio acadêmico e entre os profissionais de seu meio de trabalho. A seleção destes também levou em consideração o interesse, a compatibilidade de horários e a variada experiência dos professores (tempo de serviço e realidades escolares). Para eles, como para os alunos, fatores como estabelecimento de uma boa relação pesquisadora/entrevistado e compatibilidade de horários, foram considerados facilitadores da pesquisa. Eles também receberam assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (Anexo 4) aprovado pelo Comitê de Ética na Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais.

Em observância aos princípios da ética na pesquisa, os alunos e professores investigados tiveram suas identidades preservadas durante todo o processo. Neste sentido, neste relato a referência aos alunos é feita através do código Aluno n e a referência aos professores é feita através do código Professor n, onde “n” é um número de ordem aleatório.

As entrevistas se fundamentaram no método clínico de Piaget (1926) que será descrito posteriormente. As primeiras constituíram um piloto para o estudo final. Pelo fato de explorarmos um terreno novo, não tínhamos muita idéia do que seria respondido pelos sujeitos da pesquisa. Por isso, foi muito importante a realização das entrevistas piloto que, após uma análise preliminar, nos permitiram adequar nossos procedimentos de pesquisa. As entrevistas piloto nos forneceram a oportunidade de mudar o ordenamento e a estrutura das perguntas, de abordar aspectos não previstos inicialmente, mas que emergiram das respostas dos sujeitos, e de descobrir perguntas que não eram compreensíveis a eles.

As entrevistas realizadas foram abertas (qualitativas) e semi-estruturadas, nas quais, através de protocolos de entrevista (Anexos 5, 6 e 7) especificamos perguntas básicas que

foram feitas a todos os entrevistados como uma maneira de controlar a confiabilidade. Apesar disso, a seqüência e nível de aprofundamento das questões foram decididos ao longo da entrevista, de acordo com as respostas dos sujeitos da pesquisa. Sempre que considerávamos necessário um maior detalhamento ou esclarecimento, foram realizadas perguntas complementares.

Nossa opção pela entrevista aberta se justifica pela própria natureza das questões de pesquisa, ou seja, pelo fato de nos propormos a investigar a maneira pela qual alunos e professores estabelecem suas analogias, objetivando entender como eles atribuem significado a esse processo de raciocínio a partir de seus próprios termos (Brenner, 2006). Nesse mesmo sentido, nossa opção pela entrevista semi-estruturada se justifica pela possibilidade que esse tipo de entrevista nos concede de preencher possíveis falhas na compreensão do entrevistador, complementar uma informação, quando necessário, e modificar a ordem das questões de acordo com o desenvolvimento da própria entrevista. Além disso, o fato de as mesmas perguntas básicas serem feitas aos entrevistados, aumenta a comparabilidade dos dados (Cohen, Manion, & Morrison, 2000).

Registros em áudio e vídeo das entrevistas foram necessários. Como a câmera foi posicionada em um suporte relativamente distante dos participantes (para obter um amplo alcance com pouco movimento e poucas mudanças de zoom (Erickson, 2006)), realizamos gravações em áudio para garantir o registro do som. As gravações em vídeo, por sua vez, foram necessárias porque muitas vezes os sujeitos da pesquisa, ao expressarem os seus modelos, o faziam por meio de gestos, desenhos ou outros meios materiais, cujos detalhes se mostraram essenciais para a compreensão do processo. Além disso, esses registros nos permitiram também obter detalhes das falas dos entrevistados e de suas interações com a pesquisadora.

Notas observacionais de campo, principalmente com relação às aulas introdutórias ao tema “ligações químicas” e registros sobre os diversos conteúdos ensinados no período correspondente a cada entrevista pré-instrucional e sobre aulas posteriores à introdução do tema, também foram realizados pela pesquisadora.

Diante desse panorama geral sobre nossos procedimentos na coleta dos dados, focaremos, a seguir, na descrição de alguns aspectos da entrevista clínica que embasaram nossa opção por esse procedimento específico e, posteriormente, detalharemos os aspectos relevantes da estruturação e condução de nossas entrevistas.

O método clínico: aspectos que justificam sua escolha

Piaget (1926) ao tentar estudar a *realidade* e a *causalidade* infantis em sua obra “A representação do mundo na criança”, buscou investigar o conteúdo do pensamento das crianças. Para ele, esse conteúdo se libera ou não dependendo das crianças e dos objetivos da sua representação. Além disso, tal método se mostrou uma técnica especial para a descoberta de um sistema de crenças íntimas das crianças. Por isso, o método clínico é utilizado por especialistas em doenças mentais e na psicologia do desenvolvimento, no estudo dos indivíduos normais em evolução.

Segundo Delval, esse método

(...) é um procedimento para investigar como as crianças pensam, percebem, agem e sentem, que procura descobrir o que não é evidente no que os sujeitos fazem ou dizem, o que está por trás da aparência de sua conduta, seja em ações ou palavras (Delval, 2002, p. 67).

A essência do método, segundo esse autor, estaria no tipo de atividade do experimentador e de interação com o sujeito, ambas fundamentadas em uma intervenção sistemática daquele diante da conduta do sujeito (ações, explicações ou a combinação de ambas), com o objetivo de esclarecer o sentido do que ele está fazendo. A cada momento da interação, o experimentador formula hipóteses acerca do significado das ações ou explicações do sujeito nas situações problema em que eles foram colocados. O experimentador, então, busca comprovar suas hipóteses, imediatamente e por meio das intervenções, na tentativa de reconstruir o modelo mental do sujeito que orienta sua atuação naquela situação problema.

Ainda segundo Delval, a aplicação desse método na psicologia normal objetiva descobrir uma forma de o sujeito resolver os problemas, de modo que o interesse não está centrado no indivíduo, mas na maneira como indivíduos com determinadas características conseguem resolver esse problema. Sendo assim, o importante seria tentar achar os caminhos pelos quais o sujeito chega às suas explicações.

Para atingir tais objetivos, conforme destacou Piaget (1926), é necessário que o pesquisador consiga detectar a chamada *crença desencadeada*, a qual seria influenciada pela entrevista, pela maneira com que as perguntas fossem feitas e apresentadas aos entrevistados de forma a impelir-lhes a raciocinar em certa direção e a sistematizar o seu conhecimento de certa forma. Seria

“um produto original do pensamento da criança, uma vez que nem o raciocínio feito para responder à pergunta, nem o conjunto de conhecimentos anteriores

que utiliza durante a reflexão, são diretamente influenciados pelo experimentador” (Piaget, 1926, p. 12).

Ainda segundo Piaget, essa crença é o produto de um raciocínio feito sob comando, mas com o recurso de materiais (conhecimentos, imagens mentais, esquemas motores e pré-ligações sincréticas) e de instrumentos lógicos (estrutura do raciocínio, orientações do pensamento, hábitos intelectuais etc.) originais.

Os objetivos de investigação desse método clínico são, então, condizentes com aqueles que nos propusemos a pesquisar, pois ao investigarmos a maneira pela qual os sujeitos estabelecem analogias (situação problema), buscamos explorar o que eles sabem e como utilizam seu conhecimento nesse processo (Ginsburg, 1997 apud Brenner, 2006).

Estruturação e condução das entrevistas

Na elaboração dos protocolos da entrevista pré-instrução realizada com os alunos (Anexo 5) e da entrevista realizada com os professores (Anexos 7 e 8) procuramos, inicialmente, situá-los quanto aos objetivos da pesquisa e o seu papel, a importância do sigilo e de eles tentarem explicar suas idéias da maneira mais detalhada e fiel possível àquela que eles realmente pensavam.

Realizamos também uma sondagem inicial que, no caso dos alunos, serviu para verificar se se tratava de um primeiro contato com o tema e, no caso dos professores, para obtermos dados sobre sua experiência profissional. Além de obter essas informações específicas, optamos por, inicialmente, fazer perguntas referentes às experiências dos sujeitos para deixá-los mais à vontade, facilitando o relacionamento entre o entrevistador e o entrevistado na situação de entrevista e para adequar o vocabulário da entrevista ao sujeito questionado. No caso dos alunos, essas questões se estenderam, na entrevista pré-instrução, àquela em que a pesquisadora perguntava sua opinião sobre a Química (ver Anexo 5).

Como os direcionamentos das entrevistas dos alunos e professores se distinguem bastante, optamos por descrevê-las separadamente para que possamos detalhar melhor sua elaboração e objetivos.

Entrevista com alunos

As questões iniciais da entrevista pré-instrução, já direcionadas para o objetivo específico da pesquisa (Anexo 5), almejavam identificar a representação do átomo para o aluno e sua compreensão sobre a representação da molécula de água. Ao colocar essas

questões que endereçavam aspectos cognitivos, a pesquisadora procurava lembrar ao aluno que ele não se encontrava em uma atividade avaliativa e que ela estava interessada em conhecer sua maneira de pensar, suas próprias idéias. Sua intenção era a de estabelecer uma atmosfera de confiança para que o entrevistado se sentisse livre e seguro para falar (Kvale, 1996 apud Cohen et al., 2000).

Evitamos fazer múltiplas perguntas ao mesmo tempo para não confundir o entrevistado sobre nossos objetivos e para que ele não fosse levado a responder somente uma delas ou fornecer respostas parciais (Brenner, 2006). Além disso, a pesquisadora tentava sempre certificar-se de que o entrevistado havia compreendido a sua pergunta e a repetia ou reformulava, quando considerava necessário, no sentido de minar essa fonte de parcialidade da entrevista.

Ao longo de toda a entrevista, sempre que julgava conveniente, a pesquisadora repetia as afirmações do aluno, inserindo nelas algumas de suas hipóteses e solicitando a ele que analisasse se aquilo que ela estava entendendo era o que realmente ele estava afirmando. Assim, ela tinha a oportunidade de confirmá-las ou invalidá-las sob o julgamento do próprio aluno.

A partir dessas questões, a pesquisadora procurava também fornecer dicas para o aluno sobre o que era esperado dele em termos da profundidade dos detalhes esperados, encorajando-o a expandir suas respostas de uma maneira distinta das conversas cotidianas (Brenner, 2006).

Ao questionar o aluno sobre o significado da representação da molécula de água (H_2O) e sobre a origem da formação da substância, buscamos verificar se a questão de os átomos se ligarem era algo que ele já havia pensado para, posteriormente, verificarmos como essa questão se apresentava para ele. Nosso intuito era o de descobrir as tendências espontâneas do pensamento do aluno, ao invés de canalizá-las e as conter (Piaget, 1926).

Nesse sentido, as questões de nossas entrevistas foram elaboradas com o objetivo de investigar as crenças desencadeadas dos alunos, evitando a sugestão, ou seja, evitando a insinuação de uma resposta particular entre todas as possíveis, conforme a orientação contida na obra de Piaget (1926). Por exemplo, ao invés de perguntamos "Como os átomos se ligam na molécula de água?", solicitávamos, como mencionado, que os alunos explicassem o que eles compreendiam por H_2O e, a partir dos seus próprios termos, apresentávamos outras perguntas.

Caso nada fosse dito com relação ao fato de os átomos se ligarem, a pesquisadora afirmava que os átomos de hidrogênio e oxigênio se encontravam unidos na molécula de

água e solicitava ao aluno que fornecesse explicações sobre o que ele compreendia daquela afirmação.

Para facilitar as explicações dos alunos sobre suas idéias e modelos mentais, a pesquisadora disponibilizava diversos materiais – como bolinhas de isopor de diversos tamanhos e de cores variadas, palitos de dente, papel, lápis de cor, canetas coloridas e massinha – para que ele os expressasse. Contudo, esses materiais, mantidos em um ambiente diferente daquele onde estava sendo realizada a entrevista, só eram apresentados aos alunos quando eles já haviam apresentado as suas explicações. Isto para que não induzíssemos ou limitássemos suas representações (mentais ou expressas) aos recursos disponibilizados.

Muitas vezes, quando não obtínhamos uma explicação satisfatória ou quando esta era pouco esclarecedora sobre as idéias do aluno, além de tentar instigá-lo com perguntas como “Por quê?”, “Explique melhor para mim.”, “Como você sabe?” etc., solicitávamos que ele imaginasse que estava explicando para um colega que sabia pouco sobre aquele assunto e que, portanto, necessitava que ele fornecesse mais detalhes sobre sua maneira de pensar. Outra maneira de sondar as idéias dos alunos, de forma a buscar coerência ou contradição em suas respostas, foi contra-argumentando, quando julgávamos necessário. Nesses casos, apresentávamos uma explicação distinta ou contrária à do aluno para verificar se ele persistia nela. Com isso, buscávamos verificar se sua convicção era firme e não produto de uma sugestão de nossa parte (Delval, 2002), além de testar nossas interpretações de suas idéias.

Como mencionado, embora existisse um protocolo de entrevista, a ordem das questões era alterada de acordo com a condução da entrevista e questões pouco esclarecidas eram retomadas posteriormente, fazendo com que evitássemos a sugestão pela *perseveração* (Piaget, 1926).

Depois de obter as informações consideradas esclarecedoras com relação às idéias e modelos elaborados pelos alunos, solicitávamos que eles explicassem, através de uma comparação, a união entre os átomos. Para contextualizar e exemplificar a questão no intuito de facilitar a compreensão dos alunos sobre a mesma (Pantton, 2002 apud Brenner, 2006), citamos a analogia funcional entre nossos dedos e uma pinça.

Após estabelecer esta comparação, a pesquisadora estimulava o aluno a explicitar os mapeamentos e a justificar suas opções e idéias. Tal procedimento foi adotado em toda a entrevista, utilizando dos mesmos recursos.

As entrevistas pós-instrução foram realizadas após as aulas introdutórias ao tema “ligações químicas” terem sido ministradas pela pesquisadora. Essas aulas serão descritas posteriormente neste capítulo com o objetivo de orientar o leitor para os principais aspectos discutidos, de forma a contextualizar a situação de ensino vivenciada pelos alunos e a detalhar a especificidade das situações por eles vivenciadas.

Nessas entrevistas, a pesquisadora iniciava o direcionamento solicitando que o aluno, após assistir trechos da entrevista anterior (pré-instrução), lhe prestasse alguns esclarecimentos com relação à sua explicação para o significado da representação H_2O , à sua explicação de como os átomos se unem e às comparações estabelecidas (Anexo 6). Nesse processo de validação, denominado *checagem entre membros* (Brenner, 2006), os esclarecimentos tinham o objetivo de verificar se as interpretações da pesquisadora com relação às idéias e modelos dos alunos apresentados na primeira entrevista eram condizentes com aquilo que eles pensavam.

A partir dos julgamentos dos alunos sobre suas idéias e comparações iniciais, a pesquisadora direcionava as perguntas posteriores, como realizado na entrevista pré-instrução, no sentido de esclarecer e/ou detalhar melhor as idéias que fundamentavam seus modelos mentais nesta fase de entrevistas (quando eles já haviam passado por um processo instrucional sobre o tema).

Particularmente, em relação às primeiras comparações, as perguntas eram direcionadas no sentido de checar se o aluno era capaz de perceber limitações presentes naquelas comparações e se ele era capaz de reformulá-las. No caso de o aluno não detectar limitações nas comparações estabelecidas na entrevista pré-instrução, ele era solicitado a explicar por que a comparação facilitava a compreensão sobre a união entre os átomos e estimulado a propor uma nova comparação. Após o aluno propor suas novas comparações ou reformulações, a pesquisadora solicitava que ele explicasse o fato de os átomos se manterem unidos, com o objetivo de engajá-lo numa nova situação problema. Na tentativa de solucioná-la, o aluno poderia fornecer mais oportunidades para que a pesquisadora acessasse os significados que ele atribuía a uma dada idéia, seus modelos mentais e os fundamentos do processo vivenciado.

Entrevista com professores

Embora no caso dos professores o processo de estabelecimento de analogias para o ensino seja corriqueiro, e, portanto, não justifique falarmos na investigação de crenças desencadeadas, as orientações na elaboração das questões dessa entrevista foram as

mesmas destinadas a investigar o raciocínio dos alunos. Tal decisão se fundamentou em nossa crença de que, na tentativa de estabelecer analogias destinadas ao ensino, mesmo que em uma situação fora do contexto da sala de aula, os professores também poderiam revelar atitudes espontâneas que orientam esse tipo de pensamento na medida em que buscassem solucionar os problemas para eles colocados pela pesquisadora.

A primeira questão da entrevista com os professores de Química direcionada para o objetivo específico da pesquisa (Anexo 7), solicitava-lhes que explicassem o significado da representação H_2O , imaginando que o alvo dessa explicação fosse um aluno de oitava série que já havia estudado modelos atômicos, mas não ligação química. Após obter as explicações iniciais fornecidas pelo professor, a pesquisadora simulava uma situação na qual o aluno, para o qual o professor destinava as explicações, não havia compreendido aquilo que ele objetivava e, então, solicitava ao professor que lhe fornecesse explicações mais detalhadas. O objetivo dessas perguntas, como no caso dos alunos, era o de sondar as idéias que fundamentavam seus modelos mentais e, portanto, o estabelecimento de suas analogias.

Na introdução da segunda questão dessa parte – mantendo a simulação de uma situação em que o aluno não compreendia o que estava sendo explicado – a pesquisadora afirmava que é comum, por parte dos professores, a utilização de comparações quando o conteúdo a ser ensinado é abstrato. Essa sugestão inicial objetivava a confirmação ou negação, pelo professor, sobre a utilização dessa ferramenta em sua prática docente. No caso em que o professor negava a utilização ou em que fazia observações nas quais expressava suas idéias sobre comparações e analogias, ele era solicitado a justificar ou detalhar sua maneira de pensar. Esse procedimento de escrutinar as idéias dos professores sobre as comparações em geral, e as analogias em particular, permeou toda a entrevista.

Posteriormente à introdução e aos detalhamentos dela derivados, solicitávamos ao professor que estabelecesse uma comparação com o objetivo de explicar a ligação entre os átomos para o aluno cujo contexto de ensino já havia sido anteriormente apresentado pela pesquisadora.

Para que o professor pudesse fornecer mais detalhes sobre as idéias que embasavam suas analogias, bem como o processo de raciocínio, além das questões de sondagem, utilizando a terminologia do próprio professor para dele obter *feedback* (Brenner, 2006), a pesquisadora oferecia-lhe materiais, como aqueles fornecidos aos alunos, para que expressasse seus modelos mentais.

Ao solicitar aos professores explicações sobre os aspectos de suas comparações que consideravam representar bem a união entre os átomos e sobre aqueles que os alunos poderiam não compreender a partir da utilização de sua comparação, a pesquisadora objetivava que eles expressassem suas idéias sobre as possíveis potencialidades e limitações de suas analogias. Ela optou por não questionar-lhes diretamente sobre o assunto pelo fato de que isto poderia resultar em eles somente repetirem aquilo que, porventura, tivessem lido na literatura da área ou discutido entre seus pares, sem que, no entanto, expressassem o que realmente pensavam.

No caso particular da entrevista com a Professora 2, que ocupava uma posição de poder em relação à pesquisadora, num intuito de evitar que ela se resguardasse – resumindo suas idéias por receio de ser avaliada ou com a intenção de preservar sua imagem (Cohen et al., 2000) – buscamos atenuar a situação diferencial de poder, detalhando mais os objetivos da pesquisa e explicando-lhe que esta se relacionava com aspectos cotidianos de sua prática docente e que, por isso, ela deveria ser o mais fiel possível aos seus pensamentos e práticas.

Explicações dessa natureza também foram mais detalhadas para os professores 3 e 5, que participavam com a pesquisadora de um grupo de pesquisas com professores sobre modelos e modelagem¹⁰ e que, portanto, compartilhavam com ela de um mesmo contexto no qual as vantagens da utilização desses recursos para o ensino de ciências eram muito enfatizadas. Vale ressaltar que o enfoque das discussões propostas nesse grupo era a utilização dos modelos de uma maneira geral, e não especificamente o uso das analogias. Esses esclarecimentos por parte da pesquisadora aos professores 3 e 5 objetivava evitar que eles fornecessem respostas que supunham que a pesquisadora gostaria de ouvir, como observado por Hitchcock e Hughes, 1989 (apud Cohen et al., 2000).

A entrevista com o professor de Física (Anexo 8) forneceu-nos detalhes sobre os temas “magnetismo” e “força gravitacional” estudados pelos alunos na disciplina Física, sobre o período em que foram ministrados no ano em que as entrevistas com os alunos foram realizadas, e sobre a utilização de comparações em suas aulas. O conhecimento sobre esses aspectos foi essencial para entendermos algumas das colocações feitas pelos alunos. As informações fornecidas pelo professor que foram consideradas relevantes para a compreensão do estabelecimento das comparações por parte dos alunos são apresentadas no Capítulo 4 desta Dissertação, na apresentação e discussão dos resultados. De uma

¹⁰ Projeto “Formação de Professores e Ensino de Química através de Modelos – Investigações a partir de pesquisa-ação”, desenvolvido na UFMG no período de 2005 a 2006, sob a coordenação da professora Rosária Justi, orientadora deste trabalho.

maneira geral, esta entrevista seguiu as mesmas orientações que a entrevista com os demais professores entrevistados.

AMOSTRA

Foram envolvidos nessa pesquisa, seis professores de Química de algumas instituições de ensino públicas e privadas e de cursos pré-vestibulares de Belo Horizonte, nove alunos da oitava série do ensino fundamental de uma escola particular desta mesma cidade – cuja professora de Química era a pesquisadora – e o professor de Física desses alunos.

Todos os professores tinham experiências variadas de sala de aula: 4 anos para os professores 1, 6 e o professor de Física; 8 anos para os professores 3 e 4; 16 anos para a Professora 5 e 31 anos para a Professora 2.

Dos 16 alunos que se habilitaram a participar da pesquisa, somente 12 concluíram as duas fases (entrevista pré e pós-instrução). Os demais, apesar de participarem da primeira fase, apresentaram horários incompatíveis com os da pesquisadora na segunda fase ou interromperam sua participação sem explicitar o motivo. A faixa etária dos alunos variou de 13 a 15 anos.

CONTEXTO DE ENSINO E AULAS INTRODUTÓRIAS

Descreveremos de uma maneira geral o contexto de ensino dos alunos participantes da pesquisa e, de uma maneira um pouco mais detalhada, as aulas de introdução ao tema “ligações química” pelo fato de que determinados aspectos desses contextos podem ser esclarecedores no que diz respeito às entrevistas conduzidas nesse trabalho e, assim, ao próprio processo de raciocínio analógico investigado.

A pesquisa foi realizada com alunos de uma instituição de ensino na qual o ano letivo se divide em três etapas sendo a primeira etapa de fevereiro a maio (primeira quinzena); a segunda etapa de maio (segunda quinzena) a agosto e a terceira etapa de setembro a novembro. Nessa instituição, a disciplina Química na oitava série do ensino fundamental é ministrada separadamente da disciplina Física, o que se diferencia da realidade de muitas das escolas da capital.

A escola faz parte de uma rede de ensino que segue um cronograma padrão para cada uma das disciplinas. Os conteúdos abordados na primeira etapa letiva na disciplina

Química foram: introdução ao estudo da química, estados físicos da matéria e mudanças de estado, propriedades das substâncias (densidade e solubilidade), fenômenos físicos e químicos. Na segunda etapa, foram abordados: modelos cinético-molecular e atômico, elementos e classificação periódica. E, finalmente, na terceira etapa, os conteúdos abordados foram: substâncias e misturas, processos de separação de misturas, ligações químicas, principais funções inorgânicas e reações químicas.

O período das entrevistas foi escolhido com base nesse cronograma, de forma que a primeira fase ocorresse no período em que os alunos estivessem estudando o conteúdo de modelos atômicos (meados de junho) e a segunda fase no período em que eles estivessem estudando o conteúdo de ligações químicas (meados de setembro). As entrevistas que ocorreram na primeira e na segunda fase foram aqui denominadas entrevistas 'pré-instrução' e 'pós-instrução', respectivamente. Isso se deve ao fato de um dos focos das entrevistas ser a investigação da influência das noções dos alunos sobre ligações químicas entre átomos no estabelecimento de suas analogias, conteúdo ministrado somente na terceira etapa.

A professora dispunha de duas aulas semanais e os conteúdos, em geral, eram ministrados através de aulas expositivas em que as intervenções dos alunos se davam, na maioria das vezes, para esclarecer alguma dúvida ou quando solicitados pela professora a explicar algum aspecto do conteúdo ou a participar da correção de um exercício.

Quanto ao conteúdo de modelos atômicos, o estudo se deu na ordem cronológica em que os modelos discutidos foram propostos – Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr – destacando as principais características de cada um deles e suas aplicações nas explicações de alguns fenômenos.

As aulas introdutórias ao tema "ligações químicas" foram ministradas nas três turmas pela mesma professora-pesquisadora deste trabalho. Denominaremos turma A, a turma dos alunos 3, 5, 7, e turma B a turma dos alunos 1, 4, 6, 8, 9, sujeitos da pesquisa. A Aluna 2 foi a única selecionada entre aqueles que se candidataram a participar da pesquisa a partir de uma terceira turma (turma C) diferente da dos demais. Isso ocorreu devido ao fato de que, para garantir que teria um número suficiente de alunos, apesar das possíveis desistências durante o processo, a pesquisadora selecionou uma amostra maior do que aquela que seria possível entrevistar durante o período destinado à coleta de dados na primeira etapa letiva. Aos demais alunos que se candidataram, mas que não puderam participar das entrevistas devido à falta de tempo para realizá-las, o motivo foi esclarecido.

Eles também receberam o agradecimento por parte da pesquisadora pela disposição em participar.

Apesar de particularidades de cada uma das três turmas, as aulas tenderam a seguir um mesmo esquema geral, descrito a seguir. Quando algum fato específico ocorrido em uma das turmas for relevante para a compreensão dos dados, ele também será descrito, sendo a turma identificada.

A professora iniciou a primeira aula explicando que as substâncias são constituídas de átomos cujos tipos e/ou combinações são diferentes para cada substância. Exemplificou, citando as substâncias formadas por átomos isolados como o gás hélio (He) e as formadas por átomos ligados como o gás oxigênio (O_2), instigando os alunos a começarem a pensar nos motivos dessas diferenças e, portanto, na razão de os átomos se ligarem. Em todas as turmas, os alunos levantaram hipóteses na tentativa de explicar como os átomos se ligavam, mas não o porquê.

Na aula posterior, houve a apresentação do fenômeno da queima do magnésio e discussões no intuito de buscar explicações para: (i) o porquê de os átomos se ligarem; (ii) o porquê de existirem substâncias formadas por átomos isolados; e (iii) o porquê de os átomos, após se ligarem, se manterem unidos¹¹.

A professora iniciou esta segunda aula ressaltando propriedades físicas do magnésio como a cor, o brilho e a maleabilidade, para chamar a atenção dos alunos para as características do sistema antes que ele sofresse reação química. Após realizar a queima, ela discutiu as evidências da reação com relação à liberação de luz e às características apresentadas pelas novas substâncias formadas. Na seqüência, apresentou a fórmula que representa a substância óxido de magnésio (MgO) e a comparou com aquela que representa o gás oxigênio (O_2) – que havia sido apresentada na aula anterior – afirmando que, em ambas, os átomos se encontravam ligados.

Em seguida, a partir da evidência de liberação de luz intensa, ela retomou o fenômeno, discutindo com os alunos que a energia liberada no processo de queima do magnésio era maior do que a fornecida pela chama da lamparina utilizada para iniciar a combustão. A partir daí, explicou-lhes que a energia inicial (energia da chama) foi fornecida exatamente para iniciar a quebra das ligações existentes entre os átomos de magnésio e os átomos de oxigênio.

¹¹ Essa atividade foi elaborada a partir da experiência descrita por Romanelli e Justi no livro “Aprendendo Química” (p. 180-182) com o objetivo de propor explicações para a formação das substâncias.

Depois de fornecer essas informações, solicitou-lhes que comparassem a energia do sistema inicial (magnésio e oxigênio) com a energia do sistema final (óxido de magnésio), ao que eles concluíram, a partir da evidência de liberação de luz na queima, que o primeiro possuía uma energia maior do que a do segundo. A partir dessas idéias, a professora explicou o conceito de estabilidade como sendo o estado de mais baixa energia de um sistema em determinadas condições, responsável pela existência desse sistema naquelas condições.

Com o objetivo de esclarecer melhor essa idéia, a professora comparou a energia potencial de um objeto em duas posições diferentes demonstrando que ele, espontaneamente, vai para um estado no qual possui menor energia. Em seguida, ela requisitou que os alunos relacionassem essa situação com o fenômeno da queima do magnésio, solicitando, explicitamente, que eles associassem o objeto nas diferentes posições com os sistemas inicial e final do fenômeno discutido. Os alunos das três turmas foram capazes de mapear o objeto na posição de maior altura referencial para o sistema inicial e o objeto na menor altura referencial para o sistema final. A professora concluiu o mapeamento, afirmando que o que justificava a ligação entre os átomos de magnésio e oxigênio naquelas condições era o fato de que, unidos, eles eram mais estáveis. Ela aproveitou para comentar o fato de os gases nobres, nas mesmas condições, não se ligarem pelo fato de se encontrarem estáveis.

Na terceira aula, as discussões da aula anterior foram recordadas com o objetivo de rever as principais idéias. Após a revisão, a seguinte questão foi colocada pela professora: *"Por que, após a reação, os átomos de magnésio e oxigênio se mantiveram unidos no MgO?"* Para respondê-la, ela afirmou que seria necessário também que eles recapitulassem o modelo de Bohr. Nessa recapitulação, ela ressaltou as partículas constituintes dos átomos e sua localização de acordo com esse modelo e a existência de forças de atração e repulsão entre as partículas atômicas e, em seqüência, a existência dessas mesmas forças entre os átomos.

Neste momento, na turma B, o Aluno 6 lembrou sua comparação entre o satélite e a Terra feita na entrevista pré-instrução (ver a apresentação dos resultados dessa entrevista no Capítulo 4 desta Dissertação), numa tentativa de explicar porque os átomos se mantinham unidos. Porém, ao lembrar essa comparação, ele mapeou os planetas para os elétrons "em órbita" e não para os átomos, como na primeira comparação realizada durante a entrevista.

Após essas discussões, a professora explicou a questão do equilíbrio entre as forças de atração e repulsão existente entre os átomos ligados, apresentando-a como justificativa para que a união entre eles fosse mantida.

Como na turma B alguns alunos utilizaram o termo “anulação de forças” como sinônimo de equilíbrio de forças nas discussões com a professora, ela procurou destacar que as forças de repulsão e atração entre os átomos existiam, mas que, por apresentarem a mesma intensidade e atuarem em sentidos opostos, apresentavam uma resultante nula.

Inicialmente, foram planejadas três aulas para a introdução ao tema, porém, a partir de uma pergunta de um aluno da turma C e da manifestação de vários de seus colegas que apresentavam a mesma dúvida, a professora percebeu a necessidade de ministrar mais uma aula para esclarecer se a concepção alternativa detectada na pergunta desse aluno era também compartilhada pelos alunos das outras turmas. O aluno perguntou por que, mesmo com a existência de forças de atração e repulsão, os átomos eram capazes de se ligar. Como inicialmente a professora não compreendeu a pergunta, ele desenhou dois círculos e apontou para as suas delimitações, indicando que o equilíbrio de forças impediria que os átomos “*se encostassem*”.

A partir desses questionamentos dos alunos, a professora percebeu que, possivelmente, em suas explicações sobre modelos atômicos ou mesmo nessas últimas aulas em que havia começado a discutir a ligação entre os átomos, ela poderia ter induzido os alunos, pelas expressões (verbais ou não verbais) utilizadas, a pensar na ligação entre átomos como um contato físico entre eles. Isso justificou o planejamento de mais uma aula sobre o tema.

Nessa aula, a professora recapitulou a idéia de equilíbrio de forças e sua origem e, ao questionar os alunos das turmas A e B sobre como eles imaginavam os átomos ligados, obteve deles respostas com idéias semelhantes àquelas apresentadas pelos alunos da turma C. Por exemplo, a Aluna Y, citada pela Aluna 3 na entrevista pós-instrução (ver a apresentação dos resultados dessa entrevista no Capítulo 4 desta Dissertação), expressou a seguinte idéia:

Encostados, mas sem se fundir (se referindo à idéia expressa por outra aluna da mesma turma de que os átomos, ao se unirem, se fundiriam, se transformando em um só átomo. Neste momento, a Aluna Y fez duas argolinhas com os dedos como se mostrasse os elos unidos de uma corrente).

A professora aproveitou a ocasião para solicitar aos alunos que observassem as representações para a molécula de água que se encontravam no livro didático deles e se manifestassem, explicitando e justificando se eles imaginavam alguma daquelas

representações ou alguma outra diferente daquelas quando se referiam aos átomos unidos. Todos os alunos que se manifestaram explicitaram a mesma idéia de átomos unidos fisicamente, confirmando a suspeita da professora.

Após detectar que essa concepção alternativa era comum entre os alunos, a professora recapitulou, ainda nessa aula, o modelo de Bohr, procurando esclarecer a idéia dos níveis de energia, da inexistência de uma superfície que delimitasse o átomo e, conseqüentemente, da ligação como um produto do equilíbrio de forças.

Após esses esclarecimentos, ao questionar na turma A se, levando em consideração o modelo de Bohr, os átomos poderiam ser considerados esferinhas delimitadas, os alunos responderam que não. O Aluno X, também citado pela Aluna 3 na entrevista pós-instrução (ver a apresentação dos resultados dessa entrevista no Capítulo 4 desta Dissertação), na tentativa de expressar, nesse contexto de esclarecimentos, como compreendia a ligação entre os átomos, estabeleceu a seguinte comparação:

Professora, poderia ser quando você quebra dois ovos na frigideira. O núcleo seria a gema e a clara seria a eletrosfera.

Após essa, exposição do Aluno X, um colega de turma comentou:

Mas as claras se encostam!

A professora só identificou essa última fala ao assistir à gravação em vídeo da aula e, portanto, não houve comentários no sentido de verificar se o Aluno X mantinha a idéia de ligação entre átomos como algo material, como seu colega havia interpretado. Outra manifestação de que as concepções alternativas haviam sido mantidas por alguns alunos foi expressa pelo Aluno 5 dessa mesma turma que esclareceu, ao final da aula, que, para ele, o átomo teria como se fosse uma casca, dentro da qual os elétrons permaneceriam. Ele ressaltou que não estava pensando no modelo de Dalton, mas sim no modelo de Bohr, pois a esfera seria oca.

Nas aulas posteriores às introdutórias, em seqüência ao conteúdo programático, a professora discutiu as ligações iônicas, covalentes e metálicas, nesta ordem. O enfoque dessas aulas posteriores às de introdução foi a caracterização e a identificação daquelas ligações entre os átomos de algumas das substâncias mais comuns em nosso dia-a-dia e sua influência em algumas de suas propriedades.

A professora teve a preocupação de que o contexto de ensino tradicional presente na instituição onde a pesquisa foi conduzida e que, em geral, caracteriza o ensino de química na maioria das outras instituições – sejam elas públicas ou privadas – fosse

mantido. Isso para que, como dito anteriormente, possíveis influências desse contexto no raciocínio analógico dos alunos, pudessem ser identificadas.

RESULTADOS E ANÁLISE

As gravações em vídeo das entrevistas com os professores e alunos foram cuidadosamente assistidas pela pesquisadora que buscou centrar sua atenção nas comparações estabelecidas pelos sujeitos da pesquisa e suas justificativas, fazendo *replay* desses momentos por diversas vezes. Isso se mostrou necessário devido à grande quantidade de informações potenciais contidas nas gravações em vídeo e de nossa limitada capacidade humana de processar tamanha quantidade de informações (Erickson, 2006).

As pressuposições teóricas que determinaram nossa identificação das comparações estabelecidas pelos professores e alunos foram:

- consideramos *analogias* as comparações cujas relações entre os domínios análogo e alvo foram percebidas e mapeadas, mesmo que os sujeitos não conseguissem nomeá-las com base na nomenclatura científica ou identificar suas origens (o que, freqüentemente, ocorreu entre os alunos);
- consideramos *similaridades literais* as comparações em que, como nas analogias, relações entre os domínios foram mapeadas e, além disso, atributos de objeto foram combinados;
- consideramos *comparações de mera aparência* aquelas em que somente atributos de objeto foram compartilhados entre os domínios comparados, ou seja, somente propriedades descritivas foram combinadas.

Entre as 12 entrevistas dos alunos que participaram das duas fases (pré e pós-instrução), a pesquisadora selecionou 9 para serem transcritas e analisadas. A partir dessa análise prévia, realizada após assistir aos vídeos, ela observou que a maioria dos alunos estabeleceu os mesmos tipos básicos de comparação (analogias e comparações de mera aparência). Aqueles que estabeleceram algum outro tipo de comparação diferente dos demais (no caso desta pesquisa, similaridades literais) tiveram suas entrevistas incluídas na amostra a ser analisada. Para os outros, os critérios para a seleção da entrevista foram: clareza com que expressaram suas comparações e nível de detalhamento com que forneceram suas explicações.

No caso dos professores, todas as entrevistas foram transcritas e analisadas, pois levando em consideração os mesmos critérios assumidos para os alunos, todos descreveram e explicaram com clareza seu raciocínio.

Para todas as entrevistas selecionadas foram realizadas transcrições detalhadas dos comportamentos verbais e não-verbais do entrevistado e da pesquisadora com o auxílio das gravações em áudio e em vídeo, procedendo a uma análise “molecular” (Erickson, 2006), isto é, realizada através de unidades (grãos) menores.

Em seguida, a pesquisadora procedeu a uma análise “molar” (Erickson, 2006) – realizada através de unidades (grãos) maiores – na qual selecionou os trechos das entrevistas que continham as idéias centrais destacadas nos protocolos de entrevista (ver Anexos 5, 6 e 7) e as dispôs em quadros que facilitavam a identificação.

No caso dos alunos, as idéias centrais derivadas da entrevista pré-instrução foram:

- a idéia de átomo;
- o significado da representação H_2O ;
- os modelos confeccionados para representar a molécula de água;
- as explicações para a união entre os átomos e sua manutenção;
- as comparações estabelecidas.

Para a entrevista pós-instrução, as idéias centrais dos alunos foram:

- as críticas às idéias e representações iniciais;
- as idéias atuais sobre a representação H_2O ;
- as idéias atuais sobre a união entre os átomos;
- as críticas às comparações iniciais;
- as novas comparações estabelecidas ou suas reformulações.

No caso dos professores de química, as idéias centrais derivadas das entrevistas foram:

- a explicação do significado de H_2O para o aluno;
- a(s) comparação(ões) estabelecida(s) para explicar a união de dois átomos para o aluno;
- os julgamentos da(s) função(ões) representativa e/ou explicativa de sua(s) comparação(ões);
- a identificação de possíveis confusões/incompreensões por parte do aluno;
- a idéia de analogia do professor e suas opiniões sobre ela.

A entrevista com o professor de Física não foi transcrita, pois, como mencionado anteriormente, somente os trechos que elucidavam detalhes sobre os temas “magnetismo”

e “força gravitacional” estudados pelos alunos na disciplina, sobre o período em que foram ministrados e sobre a utilização de comparações em suas aulas eram dados que interessavam aos objetivos de nossa pesquisa. Esses trechos foram selecionados após a pesquisadora ter assistido a todas as entrevistas realizadas com os alunos e registrado as elucidações mencionadas por eles.

A partir das transcrições e levando em consideração as idéias centrais citadas e o contexto em que elas apareceram, elaboramos uma descrição dos dados que incluía a apresentação das comparações relacionais (analogias e similaridades literais) estabelecidas pelos sujeitos da pesquisa sob a forma de esquemas e codificações, no intuito de expor o conteúdo dos dados coletados. Ao longo dessas descrições foram sendo discutidas as idéias explícitas pelos sujeitos (como conhecimento de conteúdo ou sobre comparações), as idéias implícitas em suas falas (como concepções alternativas e crenças), os comportamentos não verbais (a utilização dos materiais nas representações ou as gesticulações dos sujeitos) que influenciaram no estabelecimento de suas comparações ou as esclareceram, as características dessas comparações e os julgamentos que os indivíduos faziam a seu respeito.

Na fase de análise, realizamos comparações entre os dados obtidos para sujeitos diferentes (alunos diferentes, professores diferentes e entre alunos e professores) e para um mesmo sujeito (principalmente no que diz respeito aos dados obtidos a partir das duas entrevistas realizadas com alunos). Procuramos também traçar conexões entre nossos resultados e os aspectos teóricos mais amplos descritos em nossa revisão bibliográfica. Nosso objetivo era o de comparar esses resultados com os de outros estudos realizados sobre o assunto e explicitar aquilo que havia de peculiar em nossos dados, no intuito de contribuir para um maior esclarecimento dos processos investigados.

Com o objetivo de assegurar a validade dos dados e a sua análise, foi realizada uma triangulação de dados entre as pesquisadoras envolvidas nesse trabalho. Para tal, gravações, transcrições e interpretações foram compartilhadas com o intuito de verificar a concordância nas classificações das comparações estabelecidas pelos sujeitos da pesquisa e nas interpretações sobre os fatores que fundamentaram o processo. Além disso, todas as etapas da análise dos dados foram discutidas até que se atingisse um acordo sobre as interpretações propostas.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES ESPECÍFICAS

ALUNOS

Na apresentação dos resultados referentes às entrevistas pré-instrução com os alunos, destacaremos trechos destas que possam elucidar suas noções sobre:

- a estrutura atômica;
- a representação molecular da água;
- a origem da união entre os átomos.

Destacaremos também, na apresentação dos resultados referentes às entrevistas pós-instrução, as análises e esclarecimentos desses alunos com relação às suas idéias preliminares.

Consideramos que o conhecimento dessas noções dos alunos e das análises feitas pelos próprios alunos é de fundamental importância para a uma adequada contextualização e entendimento dos raciocínios analógicos estabelecidos por eles.

Aluno 1 – Entrevista pré-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos já haviam estudado os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr e discutiam, nesse mesmo período, a classificação periódica dos elementos.

Durante a entrevista, ao ser questionado sobre como imaginava que seria o átomo, o aluno afirmou que seria como uma bola cheia de elétrons rodando dentro dela e que o núcleo do átomo também estaria no interior dessa bola.

Em sua representação das partículas de água, o aluno pegou uma esfera de isopor maior e de cor verde – que ele identificou como sendo o átomo de oxigênio – e, com o auxílio de dois palitos de dente, fixou duas esferas de isopor menores de coloração laranja – que ele identificou como sendo os átomos de hidrogênio (figura 3).

Para ele, a origem da união dos átomos seria o fato de que, ao se movimentarem, eles se aproximariam e seus núcleos se uniriam, formando um núcleo único. Aquele que ficasse sem o núcleo (esferas laranja) assumiria uma carga negativa e o que ficasse com os núcleos unidos (esfera verde) assumiria uma carga positiva e, por isso, se atrairiam.

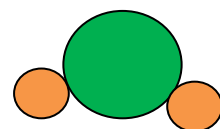


Figura 3. Representação do Aluno 1 para as partículas constituintes da água elaborada na entrevista pré-instrução.

É importante ressaltar que, embora o aluno tenha estabelecido uma comparação entre o átomo e uma bola, ao expressar suas idéias, ele mapeou somente propriedades descritivas como destacado no esquema 1.

ANÁLOGO		ALVO
bola	←————→ ¹²	átomo
oca	←-----→	oco
superfície limitante	←-----→	superfície limitante

Esquema 1. Mapeamento do Aluno 1 na comparação estabelecida entre o átomo e uma bola.

Neste caso, bem como em outros referentes às entrevistas de alunos que serão apresentados posteriormente, somente exibiremos, mas não discutiremos, os fundamentos desse tipo de similaridade. Como destacamos no capítulo 2 deste trabalho, trata-se de uma comparação de *mera aparência* e, portanto, não evidenciamos o estabelecimento de um raciocínio analógico.

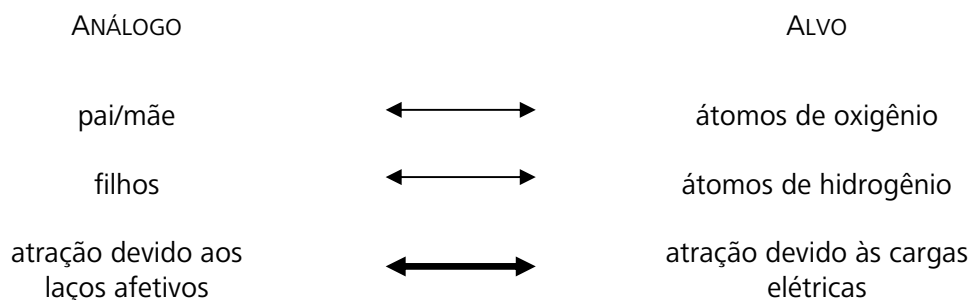
Na tentativa de explicar a união entre os átomos, o aluno estabeleceu a comparação apresentada e discutida a seguir.

Como se fosse um pai ou uma mãe (mostra a bolinha verde maior) e aqui fosse os dois filhos (pega as duas bolinhas laranja menores), aí eles uniriam um...

(...) Os laços da mãe e do filho. Os dois são unidos, não fisicamente, mas por sentimentos... E aqui também a mesma coisa. Como se aqui esse fosse uma mãe (aponta para a bolinha verde), esse aqui um filho (aponta para as bolinhas laranja) aí eles estariam atraídos, pelos sentimentos. Os sentimentos seriam as cargas.

¹² Correspondências entre objetos serão representadas por seta dupla fina; combinações de atributos, por seta dupla pontilhada e combinações de relações por seta dupla espessa.

NILMARA BRAGA MOZZER



Esquema 2. Mapeamento do Aluno 1 na analogia estabelecida entre pais, filhos e átomos.

Embora o aluno parecesse mapear o sentimento para cargas elétricas, ao longo de toda a entrevista ele associou estas à atração entre os átomos, como podemos perceber através do trecho em que ele procurou detalhar mais a explicação para a união entre os átomos:

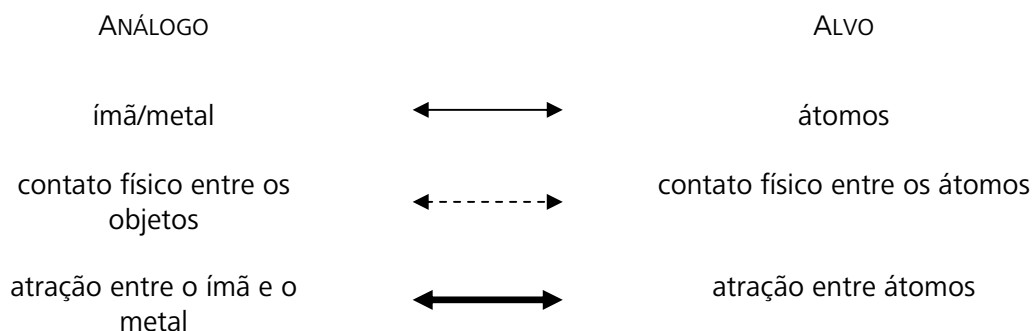
Esse átomo aqui (bolinha verde), por exemplo, às vezes ele perde elétrons para outro, aí a carga dele seria positiva, se ele perdeu elétrons a carga dele seria positiva, e esse aqui ganhasse elétrons de outro. Aí, um ia ser positivo e o outro negativo, aí quando eles tivessem perto um do outro, iam se atrair.

No seu mapeamento entre os domínios, atributos como o tamanho dos átomos e o tamanho de pais e filhos – apesar de parecerem implícitos em suas representações – não foram explicitamente mapeados, o que nos leva a crer que estes foram ignorados no processo. Por outro lado, o mapeamento relacional entre a atração eletrostática existente entre os átomos e a atração afetiva existente entre os pais e seus filhos ocorreu de forma clara e explícita, nos fornecendo evidências de sua noção sobre a natureza elétrica da matéria e nos permitindo classificar sua comparação como uma *analogia*. Considerando que até o período da entrevista todo o conteúdo sobre modelos atômicos já havia sido ministrado, e que, portanto, essas noções já eram parte da estrutura de conhecimento desse aluno, estas demonstraram forte influência sobre os domínios comparados.

O fato de esse aluno ter sido capaz de estabelecer uma comparação relacional não significa, entretanto, que ele representasse os domínios da maneira que um professor de ciências esperaria. Pudemos comprovar isso através dos esclarecimentos prestados pelo aluno a respeito dessas representações:

Um tá muito perto do outro (se refere aos átomos), como se fosse ímã e um metal assim... Aí se você chegasse um perto do outro, o ímã agarra no metal, ou o metal no ímã, sei lá.

NILMARA BRAGA MOZZER



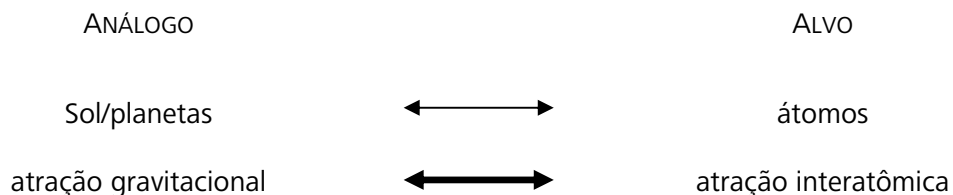
Esquema 3. Mapeamento do Aluno 1 na similaridade literal estabelecida entre ímãs e átomos.

Nessa comparação, o Aluno 1 relacionou a atração existente entre o ímã e o metal com a atração existente entre os átomos. Além disso, apesar de na analogia anterior ter destacado que a atração entre pais e filhos não originaria um contato físico entre eles, com relação aos átomos, esse aluno demonstrou imaginar que estes se ligariam através do contato físico. Isto ficou evidente por meio de sua descrição do átomo (como esfera oca dotada de uma superfície material delimitadora) e de seus esclarecimentos na entrevista pós-instrução. Com base nessas idéias entendemos que, nessa nova comparação, ele combinou atributos do análogo e do alvo, o que faz dela uma *similaridade literal*.

Ao longo da entrevista, o aluno esclareceu que, depois de unidos, haveria a migração dos núcleos e que seria essa migração a responsável por manter a união entre eles. Para ele, caso essa migração não ocorresse, os átomos positivos e negativos poderiam voltar a ganhar ou perder elétrons de outros átomos, ficando sem cargas, e, portanto, não haveria a união entre eles.

Quando solicitado novamente a fazer uma comparação, só que agora não mais para a união entre os átomos, mas especificamente para a atração entre eles, ele propôs:

O Sol e a órbita, ... a Terra. Os planetas e o Sol. (...) Só que bem mais junto, né? Bem mais atraído.



Esquema 4. Mapeamento do Aluno 1 na analogia estabelecida entre Sol, planetas e átomos.

Nessa *analogia*¹³, como na anterior, o aluno combinou predicados relacionais e ignorou os predicados de objeto. Ele confirmou que, ao estabelecer a comparação dos pais e filhos com os átomos, pensou de maneira semelhante à que pensou para estabelecer essa analogia.

Aluno 1 – Entrevista pós-instrução

Na segunda fase, todas as entrevistas foram realizadas após as aulas sobre o tema “introdução às ligações químicas” terem sido ministradas pela professora. No caso específico da entrevista pós-instrução com o Aluno 1, o conteúdo recentemente estudado havia sido o de ligação covalente.

Nessa segunda fase de entrevistas, o aluno apresentava a mesma idéia sobre a constituição da água – dois átomos de hidrogênio e um oxigênio –, porém, suas idéias a respeito da união entre os átomos sofreram modificações, como podemos notar através de suas explicações:

Um átomo está atraindo o outro, o núcleo de um está atraindo os elétrons do outro, aí eles... O núcleo de um atrai os elétrons do outro e também tem uma força de repulsão entre os dois núcleos, mas eles estão bem juntos também.

Ao ser solicitado a explicar o que seria “bem juntos”, o aluno esclareceu que, diferentemente da primeira entrevista, quando ele pensava união como sinônimo de átomos encostados, agora isso significava a força de atração entre o núcleo de um e os elétrons do outro.

Após recapitular, através da apresentação de trechos da gravação em vídeo da primeira entrevista, as idéias iniciais do aluno sobre a união entre átomos e suas comparações, a pesquisadora convocou-o a discuti-las à luz de suas idéias atuais. Ele afirmou que, sob o ponto de vista do modelo de Dalton, elas estariam corretas; porém, de acordo com o modelo de Bohr estariam erradas, pois ignoravam as forças de repulsão existentes entre os núcleos. Ele comentou também que considerava errada a idéia de união e migração dos núcleos dos átomos, porque estes permaneceriam nos respectivos átomos, ocorrendo somente uma atração entre eles.

Apesar de na primeira entrevista o aluno ter estabelecido a comparação entre a atração interatômica e a atração Sol-planetária, ele não havia explicado se pensava em forças

¹³ Como destacado anteriormente, consideramos como analogias estabelecidas pelos alunos aquelas comparações cujas relações foram por eles percebidas, mesmo que não conseguissem nomeá-las com base na nomenclatura científica ou identificar suas origens.

de mesma natureza, ou seja, se imaginava que o Sol atraía os planetas devido à fusão de núcleos com cargas elétricas. Como isso influenciava diretamente no tipo de comparação por ele estabelecido na primeira entrevista, a pesquisadora solicitou-lhe que explicasse melhor essas idéias iniciais. Ele esclareceu que enquanto a atração entre o Sol e os planetas seria devido à força da gravidade, a atração entre os átomos seria devido aos pólos positivos e negativos existentes, mas que elas seriam forças semelhantes no sentido da reciprocidade subjacente:

Assim: os dois estariam atraídos, assim, o Sol atrai o planeta como o planeta atrai o Sol. E o núcleo atrai os elétrons como os elétrons atraem o núcleo.

A explicitação desta idéia foi importante para confirmar nossa crença de que o aluno havia estabelecido uma analogia ao comparar os dois domínios na primeira entrevista.

Após esses esclarecimentos, o aluno foi convidado a estabelecer uma comparação que explicasse a união entre os átomos e fez a seguinte:

Eu estava pensando em... sabe aquela comparação dos filhos com a mãe, mas em vez de ser... É adolescente com a mãe. Porque eles têm... eles vão... Espera aí, muita calma. Eles têm uma atração assim, do filho com... O adolescente... oh! A mãe com o adolescente. Uma atração muito forte, mas... se você chegar com a mãe assim... perto, numa festa, aí você já não quer. Sua mãe te leva numa festa, mas você já não gosta que ela, assim... entendeu? Você não quer que ela fique agarrada com você o tempo todo.

ANÁLOGO		ALVO
mãe/filhos adolescentes	↔	átomos
atração devido aos laços afetivos	↔	atração devido às cargas elétricas de sinais opostos
repulsão devido ao constrangimento	↔	repulsão devido às cargas elétricas de mesmos sinais

Esquema 5. Mapeamento do Aluno 1 na analogia estabelecida entre mãe, filhos e átomos.

Além disso, para que ficasse mais clara a sua representação atual da molécula de água, a pesquisadora solicitou que ele a expressasse de alguma maneira, descrita ou concreta. O aluno optou pelo desenho mostrado na figura 4.

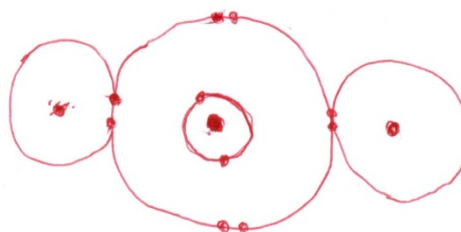


Figura 4. Representação do Aluno 1 para as partículas constituintes da água elaborada na entrevista pós-instrução.

Ele explicou que o átomo central era o de oxigênio e que os dois outros eram os de hidrogênio e repetiu sua explicação para a origem das forças de atração e repulsão, enfatizando que elas se equilibram.

Esse conhecimento parece ter embasado a analogia estabelecida pelo aluno nessa segunda fase de entrevistas, o que evidencia, como anteriormente citado, a importância do conhecimento disponível ao indivíduo no momento em que ele estabelece suas analogias.

Aluna 2 – Entrevista pré-instrução

A entrevista com a Aluna 2 foi a primeira a ser realizada e o conteúdo que os alunos estudavam naquela época era o modelo de Dalton.

A idéia que essa aluna expressou sobre a estrutura do átomo – como sendo a menor esfera que a gente pode imaginar – mostrou-se condizente com o modelo até então estudado.

Para expressar suas idéias a respeito da composição e estrutura das partículas de água, a aluna juntou sob a mesa uma esfera de isopor grande e verde, denominando-a “um tipo de átomo” e duas esferas de isopor menores e laranja, denominando-as “outro tipo de átomo” (figura 5).

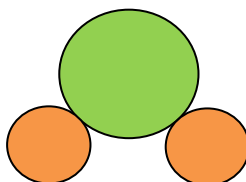


Figura 5. Representação da Aluna 2 para as partículas constituintes da água elaborada na entrevista pré-instrução.

Segundo ela, a origem da união dos átomos seria a existência de uma força de atração entre eles que faria com que ficassem grudados, formando a molécula de água. A

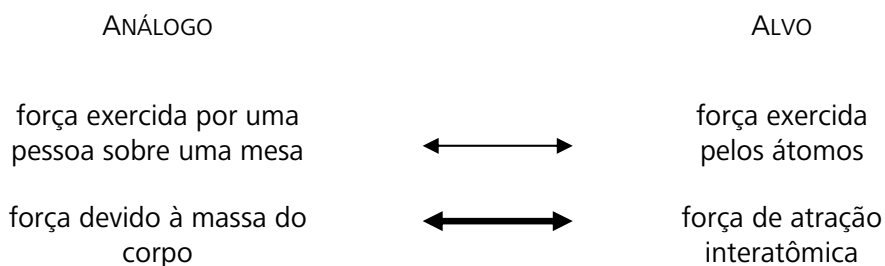
força de atração, por sua vez, se originaria a partir dos choques dos átomos isolados que se atritariam uns nos outros e grudariam.

Como se fosse uma cola (bate uma esfera contra a outra, apertando-as). Uma coisa que colasse um no outro. Um atrito que colasse.

Nesse caso, nota-se que não foi a força de atração que ela comparou à cola, mas o atrito, que seria o responsável por manter os átomos unidos, assim como a cola mantém dois objetos unidos.

Após estabelecer essa comparação de *mera aparência*, a pesquisadora solicitou-lhe que desse mais detalhes sobre o significado que ela atribuía à força e sobre suas idéias a respeito da origem da força de atração entre os átomos. A aluna explicou-lhe que a força seria uma coisa invisível e estabeleceu uma nova comparação:

Você faz força pra...você faz força na mesa. (...) Através do peso. (...) O átomo seria através de alguma coisa que tem dentro dele.



Esquema 6. Mapeamento da Aluna 2 na analogia estabelecida entre a força exercida por uma pessoa sobre uma mesa e a força exercida pelos átomos.

A aluna estabeleceu a analogia anterior na tentativa de demonstrar que, sob seu ponto de vista, força não era algo material. Essa idéia pôde ser comprovada através de explicações como a que se segue.

Segundo ela, existiriam partículas menores dentro do átomo dotadas de um material que exerceria a força e que faria com que um átomo se movimentasse em direção ao outro. Ela novamente tentou estabelecer uma comparação:

Eu sei que a Terra me atrai e eu atraio a Terra. (...) Então os átomos se ligariam igual à minha força... os átomos que estão dentro de mim.... esse negócio que está dentro do átomo é que está atraindo a Terra e a Terra tem lá alguma coisa... matéria dentro dos átomos que me atrai também.

Podemos perceber que a aluna entendeu a força gravitacional como uma força idêntica à que existe entre os átomos. Trata-se, para nós, de um exemplo de *anomalia* uma

vez que, ao pensar na igualdade das forças, ela não sobrepôs predicados de atributos ou relacionais, mas sim aspectos não logicamente relacionáveis.

Na tentativa de compreender melhor as idéias dessa aluna sobre a união entre os átomos, a pesquisadora sugeriu que ela as representasse (figura 6) e, posteriormente, explicasse sua representação.



Figura 6. Representação da Aluna 2 para a origem da força de atração.

Eu penso em esferas de átomos... São esferas! Então eu pensaria que o que estivesse dentro também seriam esferas bem menores que se movimentassem (representa o movimento através dos traçinhos em torno das esferas menores). Esse movimento geraria tipo uma força. Uma força que... essa força passaria para os outros átomos.

A Aluna 2 afirmou que, ao se movimentarem, as esferas se chocariam umas com as outras e liberariam força que, em seguida, seria liberada para um átomo próximo provocando a união entre eles. Sendo assim, a força de atração seria responsável pela aproximação entre os átomos, mas o que os manteria unidos seria o atrito entre eles.

A partir das idéias aqui apresentadas, concluímos que a aluna possuía uma noção de força como algo não material que era condizente com a científica. Esse aspecto pôde ser evidenciado através de seu desenho, no qual ela representou o movimento das esferas por traços, mas expôs, verbalmente, a existência da força de atração. Esse pode ter sido o motivo pelo qual a aluna utilizou comparações relacionais para explicar a força de atração entre os átomos. Ao contrário, suas noções sobre a interação interatômica eram ainda muito superficiais, o que parece ter sido responsável pela sua incapacidade de estabelecer comparações relacionais.

Aluna 2 – Entrevista pós-instrução

Ao discutir com a pesquisadora trechos da primeira parte de sua entrevista, a Aluna 2 explicou-lhe que mantinha a idéia de que os átomos estariam unidos e atribuiu nome a eles:

Seria unido. Aí isso aí seria o oxigênio com o hidrogênio se uniriam e formaria H_2O , a molécula da água.

Ela afirmou que discordava de sua idéia de que o que manteria os átomos unidos seria o atrito entre eles e de sua comparação de que este funcionaria como uma cola, pois acreditava que suas idéias sobre a matéria já haviam evoluído. Agora ela pensava na existência de núcleo e elétrons no átomo e de forças de atração e repulsão:

Por isso que eu falaria que, com toda a explicação que eu conheço, eu falaria que seria uma força de atração ainda entre os átomos, só que como existe núcleo, aí o núcleo atrairia os elétrons e vice-versa. Enquanto teria uma força de repulsão.

Teria forças de repulsão ao mesmo tempo, assim eles ficariam ligados. Mas não coladinhos igual antes, mas de uma maneira mais afastada.

Para explicar a origem dessas forças e como elas atuariam, ela elaborou a representação apresentada na figura 7, identificando o núcleo de um átomo de hidrogênio com a bolinha de isopor laranja e seus elétrons com as duas bolinhas brancas de isopor. O núcleo de um átomo de oxigênio seria a bola de isopor verde e as quatro bolinhas brancas, os seus elétrons.

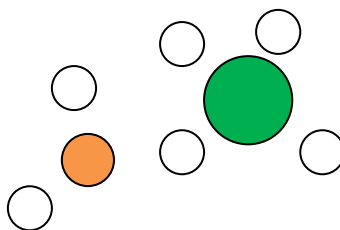


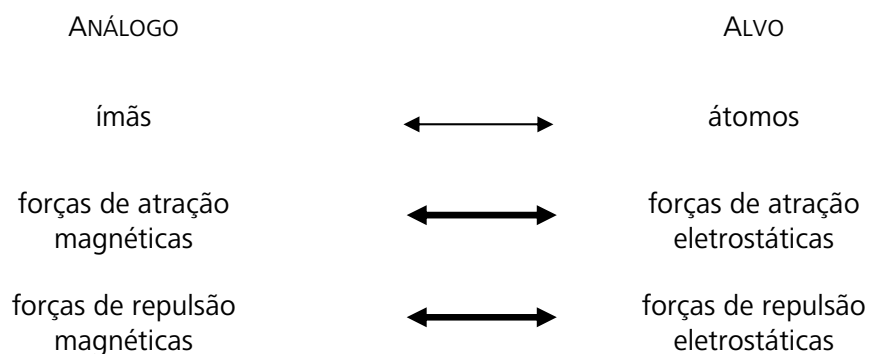
Figura 7. Representação da Aluna 2 para a estrutura atômica utilizada em sua explicação sobre a origem das forças nos átomos.

De acordo com ela, o núcleo do átomo de hidrogênio (representado pela bolinha laranja) atrairia o elétron do átomo de oxigênio (representado pela bolinha branca), mas quando os elétrons e os núcleos desses átomos se aproximassem, haveria repulsão entre eles. Esse processo ocorreria até o momento em que as duas forças – atração e repulsão –

assumissem um mesmo valor. Por isso, para ela, a comparação com a cola se tornava inadequada, pois não levava em consideração a existência da força de repulsão.

À pedido da pesquisadora e levando em consideração suas idéias atuais, a aluna estabeleceu a seguinte comparação:

Poderia ser o ímã. (...) Porque o ímã ele semp..., toda vez que a gente aproxima demais o ímã ou ele... quando a gente aproxima demais, o ímã ou se une ou ele afasta um do outro. Seria a mesma coisa (aponta para as representações). Ou eles se unissem [sic], a... seria a força de atração ou se afastariam, que seria a força de repulsão.



Esquema 7. Mapeamento da Aluna 2 na analogia estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Ao perceber que essa analogia apresentava a limitação de que, no ímã, ora estariam presentes forças de atração, ora as de repulsão, a aluna considerou-a inadequada e propôs outra:

Eu não sei se poderia ser, penso que o movimento de uma onda. A onda, quando ela vai, vamos supor, ela encontra com o mar... com a areia, aí seria a força de atração, a onda indo; já quando ela volta, seria a força de repulsão. A onda está se afastando da areia.

Como o “vai e vem” das ondas não acontece simultaneamente, essa comparação não apresenta um caráter relacional, além de não compartilhar qualquer similaridade descritiva entre os domínios comparados. Parece que ela foi proposta pela aluna exclusivamente numa tentativa de superar as limitações por ela identificadas em sua primeira comparação. Trata-se, portanto, a nosso ver, de uma *anomalia*.

Aluna 3 – Entrevista pré-instrução

A maneira como a Aluna 3 descreveu o átomo como sendo uma esfera divisível em poucas partes era condizente com o modelo atômico de Thomson, que ela havia estudado no período da entrevista.

Ao tentar atribuir significado para a representação H_2O , ela identificou “H” como sendo a água propriamente dita e “2O” como o ar presente em pequena quantidade nela. Por isso, ao tentar representar a água com o auxílio dos materiais disponibilizados pela pesquisadora (figura 8a), ela colocou sob a mesa um pedaço de massinha azul achatada que, segundo ela, seria o “H” e pedaços de palito de dente que seriam o ar. Ela explicou que estava representando a água de algum ambiente ou paisagem, ou seja, era uma representação em nível macroscópico.

Para compreender melhor a constituição da água, a professora pediu-lhe que explicasse como ela imaginava que seria a parte representada pela massinha azul. A aluna descreveu que seria constituída por partículas de água que, por se encontrarem no estado líquido, não estariam tão desorganizadas e agitadas quanto no estado gasoso.

Como essa aluna demonstrou pouco entendimento sobre a constituição atômica da água, quando a pesquisadora solicitou-lhe maiores detalhes sobre esses aspectos, ela utilizou o modelo de partículas, já estudado, para caracterizar o estado líquido da matéria. Por isso também, as únicas alterações que sua representação preliminar sofreu foram as divisões do pedaço de massinha em bolinhas menores e dos pedaços de palito em pedaços menores, dispostos de maneira mais afastada uns dos outros (figura 8b).

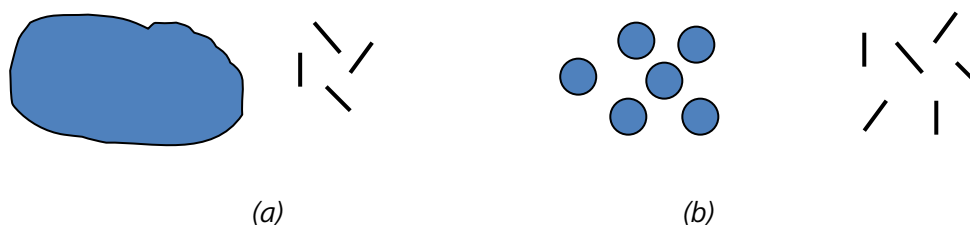


Figura 8. (a) Representação preliminar da Aluna 3 para a água; (b) representação reformulada da Aluna 3 elaboradas na entrevista pré-instrução.

Ainda na tentativa de obter mais informações sobre sua representação para a água, a pesquisadora pediu para que ela imaginasse que seria capaz de dar um zoom na partícula constituinte da água e que detalhasse o que ela esperaria ver. A aluna descreveu a partícula, estabelecendo uma comparação de *mera aparência* através da qual ressaltou algumas de suas características, mas não se referiu à sua constituição:

Eu acho que seria assim... Você está querendo saber mais ou menos como que seria a partic... Eu acho que seria assim: ela não seria assim tipo... redondinha assim. Acho que ela seria mais tipo assim (desenha algo meio oval, mas sem uma delimitação regular), mais assim e eu acho que ela seria assim mais... um pouco mais mole e como se fosse uma gelatina. Tipo uma gelatina.

Como objetivo da pesquisadora era o de que a aluna estabelecesse comparações a respeito da união entre os átomos, o fato de ela não apresentar um entendimento mais claro sobre a constituição da água a impossibilitava de realizá-lo. Para evitar que isso acontecesse, a pesquisadora lhe forneceu a informação de que a água seria constituída de átomos de oxigênio e hidrogênio e pediu-lhe para explicar e representar (figura 9) como ela imaginava que estes se encontrariam.

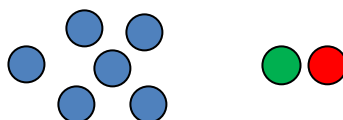


Figura 9. Segunda representação da Aluna 3 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

A aluna explicou que existia a partícula de água (representada por bolinhas de massinha azul) e os átomos de oxigênio e hidrogênio próximos (representados por bolinhas de massinha vermelha e verde, respectivamente) – mas não encostados – e que o quê os impedia de se chocar era a vibração desses átomos. Isso nos permite perceber que a aluna somente incorporou, em sua representação, os dados apresentados pela pesquisadora, sem fazer extrapolações.

A seguir, a pesquisadora lhe forneceu mais um dado na tentativa de possibilitar o estabelecimento de uma analogia – informou-lhe que os átomos de hidrogênio e oxigênio se encontravam unidos – e solicitou-lhe que explicasse como ela entendia isso.

Eu acho que pelo fato seguinte: como a gente estudou a semana passada, dos elétrons, de um ser elétron negativo, dentro da... da... Eu acho que uma delas deve ter... e o fato de os opostos se atraírem, eu acho que uma deve ter elétrons negativos e outra deve ter positivo, fazendo com que aí elas se atraem [sic] aí elas se unem [sic].

Após obter essa explicação, a pesquisadora solicitou que ela fizesse uma comparação para facilitar sua compreensão.

É... como se fosse assim, quando você pega, por exemplo, é... a massinha mesmo, aí quando você apertar as duas assim (demonstra utilizando os pedaços de massinha verde e vermelha), aí elas se unem... (...) Tipo... um pouco de uma vai pra outra e... a da vermelha vai um pouco pra a verde e a verde vai pra vermelha.(...) Aí vamos supor que a vermelha tivesse elétrons negativos e a outra, elétrons positivos. Aí elas iriam... elas iriam, elas iriam chocar com as partículas da água... aí uma iria para cima da outra, aí pelo fato de os opostos se atraírem, aí eu acho que elas se uniriam.

Após estabelecer essa comparação de *mera aparência*, a aluna esclareceu, ainda, que, apesar de as partículas de oxigênio e hidrogênio se chocarem com as de água, elas não se uniriam a esta, pois nela já estariam presentes os “*elétrons positivos e negativos*” que causariam a repulsão dessas partículas. Ela explicou também que dentro dos elétrons poderia existir uma substância que faria com que os átomos, ao se chocarem, formassem a água. Por isso, haveria a coexistência das partículas de oxigênio e hidrogênio que ainda não teriam se transformado em água.

Em nenhum momento da entrevista, a aluna foi capaz de estabelecer analogias. Isto parece evidenciar que o completo desconhecimento do domínio alvo impossibilita o estabelecimento das mesmas pelo indivíduo.

Aluna 3 – Entrevista pós-instrução

Após assistir os trechos iniciais da filmagem de sua primeira entrevista, a Aluna 3 discutiu com a pesquisadora suas idéias atuais. Ela disse que, para ela, a partícula da água seria constituída por dois hidrogênios e um oxigênio. Ela criticou também sua representação anterior na qual as partículas de água coexistiam com os átomos de oxigênio e hidrogênio (figura 9):

Ah, eu acho que eu não deveria ter colocado partícula azul no meio da... da ligação de oxigênio com hidrogênio, porque se formaria alguma substância, alguma substância com a ligação dos dois ia formar a água. Como é que a água estaria lá?

Ela explicou que, como em sua representação os átomos de hidrogênio e oxigênio ainda estavam se unindo, não haveria a formação da substância água.

A pesquisadora lhe solicitou que, baseando-se nessas novas idéias, ela propusesse uma representação que facilitasse seu entendimento sobre a constituição da água e que explicasse a sua formação (figura 10).

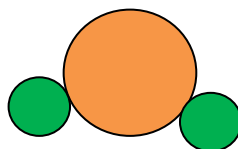


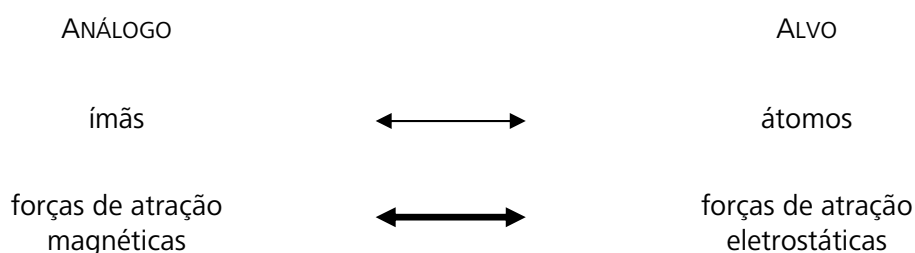
Figura 10. Representação da Aluna 3 para as partículas constituintes da água elaborada na entrevista pós-instrução.

Aí tem o átomo de oxigênio (mostra a bolinha de massinha laranja). Aí eu acho que a ligação dos dois átomos (une a bolinha laranja às duas bolinhas de massinha verdes), aí depois eu acho que deveria ocorrer alguma reação,

alguma coisa que formaria a água. Com o ligamento [sic] dos dois, aí eu acho que formaria alguma substância que formaria a água.

Para que se mantivessem ligados, a aluna explicou que os átomos deveriam estar sob a forma de íons originados através do “salto quântico”, processo em que elétrons poderiam passar de um átomo para o outro. Após esses esclarecimentos, ela estabeleceu a seguinte comparação:

Acho que como um ímã. Tipo, eles não precisam de nada que liga um ao outro, tipo uma corda: ele pega, aí puxa um e outro se atrai. Eu acho que eles já se atraem automaticamente, eles chegam próximos um do outro e já se atraem.



Esquema 8. Mapeamento da Aluna 3 na analogia estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Ao combinar as forças magnéticas e as forças eletrostáticas, a aluna deixou claro, através da citação anterior, que os aspectos em que ambas seriam semelhantes era o fato de não serem materiais e de serem responsáveis pela atração entre os objetos dos dois domínios.

Para ela, como para a Aluna 2 na entrevista pré-instrução, o produto dessa atração seria uma união material entre os átomos que os manteria ligados. Por isso, a Aluna 3 comparou essa união com os elos de uma corrente; com a interpenetração de um átomo no outro (pois, como ela mencionou na primeira entrevista, eles seriam como gelatinas); e com uma algema que quando bate no braço de uma pessoa se prende a ele.

Eu acho assim: é como se fosse uma corrente, aí a corrente fica assim, (mostra dedos presos um ao outro, na tentativa de representar os elos de uma corrente) é como se fosse isso, um fica ligado com o outro, parecidamente com a corrente. (...) Acho que tipo assim, quando eles se atraem, eu acho que eles já..., a força entre eles eu acho que é muito elevada, aí, então, quando eles já estão saindo, acho que eles têm uma velocidade maior, aí no que eles já se chocam, aí eles tipo... como se um penetrasse no outro, entendeu? (...) Aí eles ficam ligados, que nem é... tipo algema, você bate ela no braço ela já passa. Acho que é tipo isso.

Assim como discutimos no caso da Aluna 2, estas são comparações de *mera aparência*. Uma diferença importante está no fato de que comparações deste tipo foram estabelecidas

pela Aluna 2 na entrevista pré-instrução, enquanto que a Aluna 3 as estabeleceu na entrevista pós-instrução. Isso parece demonstrar que os conhecimentos da Aluna 3 sobre o domínio alvo não evoluíram significativamente.

Como a pesquisadora identificou na fala da aluna algumas informações sobre representações que haviam sido discutidas em sala de aula, indagou-lhe em que ela estava pensando à medida que discutiam suas idéias.

É... acho que passou um pouco da quarta-feira (se refere à aula anterior), da aula que você perguntou como que seria a ligação deles e tal, do Aluno X explicando o negócio lá do ovo quando quebra e tal (o aluno havia comparado a interpenetração dos níveis como dois ovos fritos nos quais, em determinada região, suas claras se interpenetrariam). Acho que isso, também. Acho que a explicação da Aluna Y (essa aluna havia comparado a união dos átomos aos elos de uma corrente). Eu pensei tipo... como que cada um explicou como é que achava, eu fui pensando... quando eu também estava na aula assim... eu não falei, mas eu fiquei pensando tipo como que eu acharia que permaneceria ligado, como que seria a ligação e tal. Pensei em quando você colocou as figuras do livro que tem as três lá (figuras que representavam de três maneiras diferentes, a molécula de água: modelo de esferas conectadas por traços; modelos de esferas que se interpenetravam; e modelo representando os níveis de energia e o compartilhamento de elétrons), da entrevista também quando eu representei, acho que foi só isso.

Esse relato da aluna foi de extrema importância para nós, pois nos deu indícios de que informações obtidas através das aulas ministradas pelo professor ou através do livro texto, além daquelas obtidas por discussões com os pares, podem influenciar grandemente o estabelecimento de analogias pelos alunos.

Aluna 4 – Entrevista pré-instrução

Esta entrevista, como a do Aluno 1, foi realizada posteriormente ao estudo dos modelos atômicos, quando eles estudavam a classificação periódica dos elementos.

A Aluna 4 explicou à pesquisadora que, para ela, o átomo seria como uma esfera com espaço vazio, elétrons e um núcleo central – com prótons e nêutrons – em seu interior. A água seria formada por conjuntos de átomos, sendo que, em cada um deles, haveria dois átomos de hidrogênio (representados por bolinhas de isopor brancas) e um de oxigênio (representado por bolinha de isopor laranja), dispostos como na figura 11.

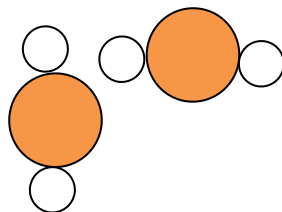


Figura 11. Representação da Aluna 4 para as partículas constituintes da água elaborada na entrevista pré-instrução.

Ela esclareceu que dispôs as esferas da maneira representada na figura 11 pois, se os átomos estivessem separados e misturados, poderiam originar outras substâncias diferentes da água; por exemplo, dois átomos de hidrogênio poderiam agrupar-se e o mesmo poderia ocorrer com dois de oxigênio.

A pesquisadora lhe perguntou o que faria com que eles se agrupassem daquela maneira (figura 11). A aluna lhe respondeu que seria a atração existente entre eles, pois se tratava de átomos eletricamente positivos e outros eletricamente negativos. Após esses esclarecimentos, ela fez a seguinte comparação:

Oh, supondo que uma pessoa ela seja chata e a outra legal, só que elas se atraem, elas têm uma atração, mesmo tendo coisas opostas elas, elas se gostam, vamos dizer assim. Aí vamos supor que essa é a chata (bolinha branca), essa é a legal (bolinha laranja), aí elas se atraem.

ANÁLOGO		Alvo
pessoa chata	↔	átomos de hidrogênio
pessoa legal	↔	átomos de oxigênio
atração devido aos laços afetivos	↔	atração devido à natureza das cargas elétricas

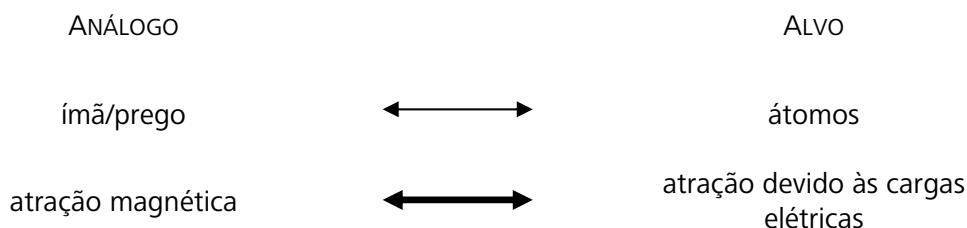
Esquema 9. Mapeamento da Aluna 4 na analogia estabelecida entre pessoas com características diferentes e átomos.

A aluna explicou que a correspondência (apresentada no esquema 9) entre a pessoa chata e os átomos de hidrogênio e entre a pessoa legal e o átomo de oxigênio foi feita somente a título de exemplificação. O contrário também poderia ser válido, desde que se mantivesse a idéia da existência de coisas opostas se atraindo. Outro esclarecimento relevante foi o de que a atração nos átomos se devia às suas cargas.

Em seguida, ela estabeleceu uma nova comparação ao ser solicitada a explicar como imaginava a atração entre os átomos:

... um ímã, é melhor, um ímã. É... tem uma força entre o metal e o ímã. A gente não pode ver, né? Mas você sabe que tem, porque eles se atraem (junta uma mão na outra). Acho que é mais ou menos isso.

Que, mais ou menos, tem... como se fosse o prego puxa o ímã e o ímã puxa o prego...



Esquema 10. Mapeamento da Aluna 4 na analogia estabelecida entre ímã e pedaço de prego e os átomos.

Segundo a aluna, apesar de reconhecer a reciprocidade das forças, a força que o ímã exerceria no prego seria maior do que a do prego no ímã, sendo essa a garantia de que eles se encostariam. Ela informou também que, sob seu ponto de vista, essa diferença entre as intensidades das forças não ocorreria entre os átomos, porque o nêutron as regularia, impedindo que um átomo atraísse mais o outro.

A pesquisadora lhe solicitou maiores esclarecimentos sobre o papel do nêutron, ao que ela explicou:

É... ele, o nêutron, ele serve mais assim tipo, porque se não existisse eles [sic], o elétron ia sair... o elétron da eletrosfera ia atrair com o próton do núcleo aí não ia existir né, aí no caso, porque ia chocar lá... Aí, mesmo ele sendo eletricamente negativo e outro positivo, o nêutron faz com que o número de cargas assim que tem nesse (mostra a bolinha branca), tenha nesse (mostra a bolinha laranja), independente se for [sic] positivo ou negativo.

Nesta citação percebe-se que, segundo ela, além impedir que os elétrons se chocassem com os prótons do núcleo, o nêutron também garantiria a igualdade de cargas entre os átomos.

Em seguida, ela mudou de idéia, associando a igualdade das forças à igualdade de cargas elétricas:

Porque aqui tem um próton a mais (mostra a bolinha branca) e aqui tem um elétron a mais (mostra a bolinha laranja), só que... Ah não professora! Mudei minha idéia. Não é o nêutron que faz isso. É porque tipo assim: tirou um próton... Não, tirou um elétron daqui (mostra a bolinha branca), mas como tirou um próton daqui (mostra a bolinha laranja), eles ficaram mais ou menos com a mesma força...

Na seqüência, a aluna justificou que sua mudança de idéia se deveu ao fato de ela perceber que a função do nêutron era somente a de impedir que o elétron de um mesmo átomo se chocasse com o seu núcleo e que as forças de atração estariam ligadas às cargas elétricas.

Tentando tornar suas idéias ainda mais claras, a aluna fez o desenho mostrado na figura 12 e, em seguida, explicou a formação dos íons e sua atração.



Figura 12. Representação da Aluna 4 para a origem da atração entre os átomos.

De fora da bolinha (se refere à bolinha de isopor branca e desenha sinais negativos dentro do círculo externo). Aí, se eu arrancar um negativo (circula um sinal negativo), ele vai ficar com três negativos e quatro positivos. Aí ele vai ficar positivo. (...) Agora na bolona (mostra a bolinha de isopor laranja), ela tem o mesmo jeito da bolinha (se refere à bolinha de isopor branca). Tem uma bolinha lá dentro... Só que se eu tiro um positivo e deixo o negativo, aí ele vai ficar negativo.

Ela completou sua explicação, afirmando que, por isso, eles se atrairiam e reafirmou que, dentro de um mesmo átomo, esse tipo de atração entre as cargas de sinais opostos seria impedida pelo nêutron. Este atuaria, por sua vez, na comparação da atração entre os átomos com a atração entre as pessoas,

Como se fosse uma sogra.

ANÁLOGO		ALVO
sogra/casal	↔	nêutrons/elétrons e prótons
impedimento de atração física	↔	impedimento de atração eletrostática

Esquema 11. Mapeamento da Aluna 4 na analogia estabelecida entre a sogra e as partículas atômicas.

Podemos notar que as comparações estabelecidas entre os átomos e as pessoas, entre aqueles e o conjunto ímã/metalo, e entre partículas atômicas e a sogra envolveram correspondências relacionais entre as interações afetivas ou magnéticas e as interações eletrostáticas, o que faz delas *analogias*. Apesar disso, essa última comparação, não se apresenta conceitualmente compatível com as idéias científicas sobre interações entre as partículas constituintes do átomo.

Aluna 4 – Entrevista pós-instrução

Após rever a comparação entre os átomos e as pessoas estabelecidas na primeira entrevista, a Aluna 4 disse à pesquisadora que a julgava parcialmente correta, pois ela não havia considerado as forças de repulsão entre os elétrons e entre os prótons. Além disso, ela afirmou que, durante aquela entrevista, sentiu a necessidade de estabelecer uma segunda comparação porque achou que a primeira tinha deixado “*meio vaga*” a questão da força de atração.

Ela observou também, com relação à formação dos cátions e ânions, que

(...) esse negócio de tirar o próton, eu acho mais difícil, porque você precisa de muita... muita... acho que energia para fornecer para o próton do átomo passar para outro. Acho mais fácil, tipo assim, tirar um elétron e colocar mais um elétron, aí eles ficam com cargas opostas, aí eles vão se atrair. Acho mais fácil assim.

Ao tentar explicar, com base em suas idéias atuais, a união entre os átomos de hidrogênio e oxigênio, a aluna, que já havia estudado sobre ligação iônica e, recentemente, iniciara os estudos sobre ligação covalente, tentou explicar novamente a união em termos de atração entre íons de cargas opostas, acrescentando à sua explicação a idéia de estabilidade:

Só que é... pra... pra o oxigênio ficar igual ao hidrogênio, em termos de número de... não de carga..., ele tem que ser igual. (...) Tipo assim, ter o mesmo... ah não sei! Têm que ser iguais assim... têm que ser estáveis. Os dois têm que estar estáveis, da mesma forma. Aí, tipo assim, um de oxigênio, para o de hidrogênio ficar igual ao de oxigênio ele precisa de dois... de dois átomos de hidrogênio ligados a um de oxigênio, para eles ficarem estáveis. Pra água ficar estável.

Para que pudesse entender melhor essas e outras idéias da aluna, a pesquisadora lhe solicitou que representasse as partículas de água (figura 13).

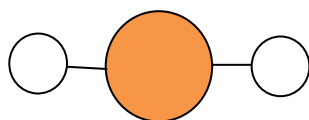


Figura 13. Representação da Aluna 4 para as partículas de água elaborada na entrevista pós-instrução.

Nessa representação, a aluna utilizou uma bolinha de isopor maior e laranja, a qual ela identificou como sendo o átomo de oxigênio; duas bolinhas de isopor brancas e menores, as quais ela identificou como sendo os átomos de hidrogênio; e dois palitos de dente que representariam, simultaneamente, as forças de atração e repulsão. Em seguida, ela tentou explicar:

Pra ficar igual ao grande eles têm que... Não. Tipo assim: se tivesse assim (retira um dos pauzinhos e uma das bolinhas brancas) aí esse (mostra a bolinha branca que permaneceu ligada à bola laranja) ia ficar diferente, tipo menos estável. Não, estável não. Diferente desse (mostra a bola laranja). (...) Porque, tipo... vamos supor que ele é maior, não é nem questão de maior ou menor, não. Deixa eu pensar aqui [sic]. Acho que é.. é de...., não é carga aqui não. Do nível de energia, pra ficar igual. Aí se tivesse só esse daqui (mostra a bolinha branca) com esse aqui (mostra a bola laranja ligada à branca mostrada anteriormente) ia ficar tipo menor, e se juntar os dois (fixa novamente a outra bolinha branca ao conjunto com o auxílio do palito), vai ficar igual, os dois (mostra as duas bolinhas brancas) a esse (mostra a bola laranja).

Como a pesquisadora não compreendeu o que a aluna estava chamando de "igual", sugeri, novamente, que ela poderia utilizar outras formas de representação, como o desenho, para detalhar mais suas idéias. A aluna, então, fez o desenho apresentado na figura 14:

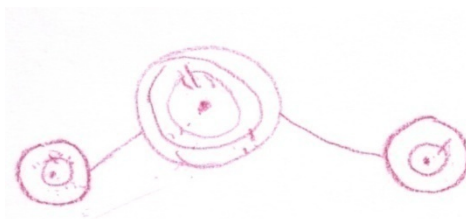


Figura 14. Segunda representação da Aluna 4 para as partículas de água elaborada na entrevista pós-instrução.

Ela identificou o círculo central e maior como sendo o átomo de oxigênio (no qual o círculo externo serviria somente para delimitar o átomo), os dois círculos internos como sendo os níveis de energia com elétrons, representados por tracinhos sobre eles, e o pequeno círculo central preenchido como o núcleo com prótons. Os círculos laterais

representariam os átomos de hidrogênio, cuja representação seguiu o mesmo padrão da representação do átomo de oxigênio.

Após representar, a aluna explicou como ocorreria a ligação entre eles:

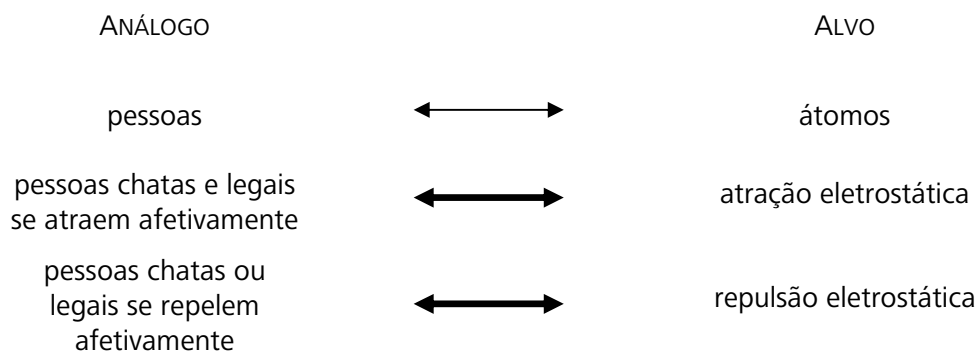
Aí tipo aqui tem um elétron, aqui tem um elétron (aponta para os átomos laterais), aqui tem dois (aponta para o átomo central). Aí, esse se liga a esse (através de um traço, liga um dos átomos laterais ao central). Aí vão ficar... mas isso daqui é a força, não é o palitinho tipo... tipo matéria, não (se refere ao traço ligando os átomos). (...) É tipo... é o elétron atraindo o próton que está no núcleo (mostra elétrons e prótons de átomos diferentes) e o elétron e o outro elétron não se atraem (mostra elétrons de átomos diferentes). Aí vai ficar tipo... tipo no mesmo lugar (aproxima e afasta uma mão da outra algumas vezes).

Além disso, segundo ela, como os átomos laterais teriam elétrons faltando, eles teriam que receber elétrons para ficar como o átomo central. Assim, ela esclareceu em que sentido, em sua concepção, os átomos se tornariam "iguais", ou seja, em termos do número de elétrons e do equilíbrio entre as forças de atração e repulsão.

Após esses esclarecimentos, solicitada pela pesquisadora, ela comparou a união dos átomos:

Acho que esse negócio de "gostar" daquela comparação, acho que não serve bem para essa ligação aqui, não. Por que tipo tem... um vai... porque tipo assim... tipo finge que esse é o chato, igual eu fiz ali (aponta para a representação do átomo central) e os dois são legais (aponta para a representação dos átomos periféricos) e os dois são legais, só que aí como eles vão... eles vão se atrair, né? Aí vai formar isso aqui (mostra a representação das duas bolinhas brancas de isopor ligadas à bola laranja). Aí é... e esse com esse (mostra os dois átomos periféricos)? Eles são iguais, entendeu? Em termos assim de legal e chato. Aí tipo... eles não têm muita atração, não. É por isso que... porque, senão, ia ficar assim oh, tipo... ia ficar ligado esses dois também (mostra no seu desenho os dois átomos periféricos), entendeu?

(...) Não. Ah, não! Serve isso (se referiu ao fato de poder continuar utilizando o critério 'legal e chato') também! Porque eles são iguais aí eles vão ter... repulsão.



Esquema 12. Mapeamento da Aluna 4 na analogia estabelecida entre a pessoas e átomos.

Apesar de, por diversas vezes em suas explicações ao longo dessa entrevista, a aluna ter ressaltado a existência de forças de atração e repulsão acontecendo simultaneamente entre dois átomos ligados, ela não foi capaz levar em consideração esse aspecto na analogia estabelecida (esquema 12). Talvez isso tenha acontecido por ela só estar repetindo as informações relativas à simultaneidade das forças, que obteve a partir das discussões em sala de aula (como as que ocorreram nas aulas de introdução ao tema “ligações químicas”) sem tê-las realmente entendido.

Aluno 5 – Entrevista pré-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos haviam terminado os estudos a respeito do modelo atômico de Thomson e iniciavam seus estudos a respeito do modelo de Rutherford.

O Aluno 5, ao ser indagado pela pesquisadora sobre como ele imaginava que seria o átomo, disse-lhe, sem dar maiores detalhes, que seria uma esfera tal qual as que ele estava acostumado a ver nos livros didáticos.

Ao explicar o significado da representação H_2O , em um primeiro momento, ele disse que “H” significava hidrogênio, “O”, oxigênio e que ele nunca havia pensado no significado do “número dois”. Ao ser solicitado a representar as partículas da água (figura 15), ele disse que, naquele momento, pensava que elas seriam constituídas por uma partícula de hidrogênio (representada por uma bolinha de isopor branca e grande) e duas de oxigênio (representadas por duas bolinhas de isopor brancas e pequenas).

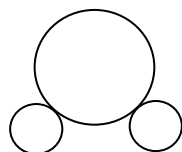


Figura 15. Representação do Aluno 5 para as partículas de água elaborada na entrevista pré-instrução.

Para que ocorresse a formação da água, segundo ele, o oxigênio do ar e o hidrogênio, também presente na atmosfera, se agrupariam devido à força de atração existente entre eles e formariam a água. Nesse momento da entrevista ele representou, utilizando as bolinhas de isopor, diversos grupos como aquele mostrado na figura 15.

Ele explicou que dentro das partículas (átomos de hidrogênio e oxigênio) existiria uma “*substância*” responsável pela aproximação das mesmas. Então, a pesquisadora lhe solicitou que representasse sua idéia, para que ela pudesse compreender melhor o que ele estava pensando.

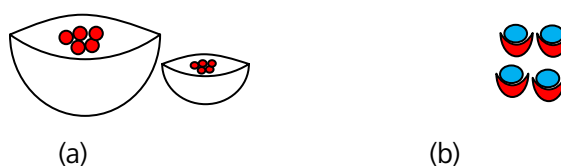


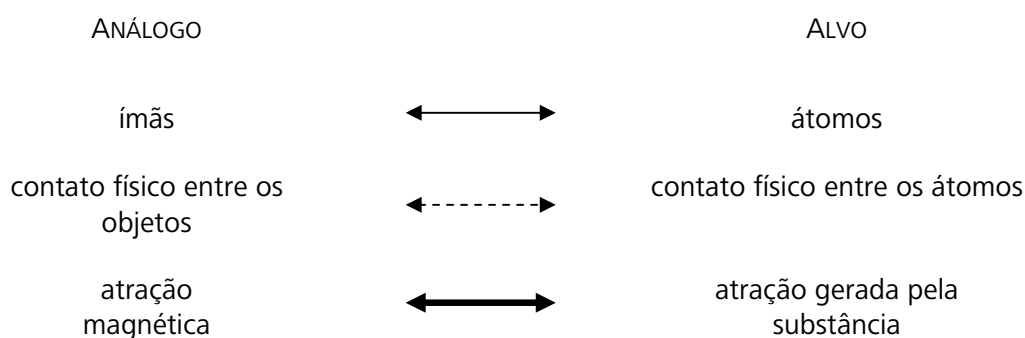
Figura 16. Representação do Aluno 5 para a origem da atração entre os átomos: (a) detalhe dos núcleos do átomos; (b) detalhe da substância constituinte das partícula nucleares.

Para fazer a representação referente à figura 16a, o aluno cortou duas esferas de isopor, uma maior (que, para ele, corresponderia ao átomo de hidrogênio) e outra menor (que corresponderia aos átomos de oxigênio) e colocou pequenas bolinhas de massinha vermelha no centro de duas semi-esferas, uma maior e outra menor (que corresponderia ao núcleo). Para mostrar o que havia no interior das esferinhas vermelhas, o aluno representou semi-esferas de massinha nessa coloração e preencheu-as com pedaços de massinha azul (que corresponderia à “*substância*” responsável pela atração) (figura 16b).

Ao explicar suas idéias sobre a atração entre os átomos, o aluno a comparou com a atração existente em um ímã. Porém, como suas idéias com relação à origem dessa força pareciam não estar ainda suficientemente claras, a pesquisadora lhe solicitou, primeiro, que

as esclarecesse. Posteriormente, a comparação foi retomada e o aluno a expôs da seguinte maneira:

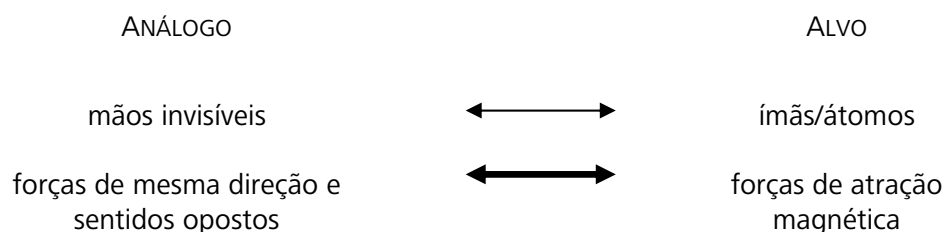
Os ímãs, eles se atraem da mesma forma como os átomos se atraem para formar a matéria. Então, existe uma espécie de ligação entre esses ímãs e esses átomos que, de acordo com o que eu acho, seria uma substância que está ali dentro núcleo, que o núcleo é o que fica dentro do... é o que fica no centro do átomo, teria uma substância dentro desse núcleo que faria, como os ímãs se atraem, faria essas partículas desse átomo também se atraírem.



Esquema 13. Mapeamento do Aluno 5 na similaridade literal estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Para esclarecer mais suas idéias, o aluno estabeleceu uma nova comparação:

Eu mostraria o ímã, aí eu ia falar que é como se um puxasse o outro. Por exemplo assim: uma mão invisível que tem e que aí, um puxa o outro.



Esquema 14. Mapeamento do Aluno 5 na analogia estabelecida entre as mãos invisíveis e o ímã.

Apesar de não ter mencionado durante a entrevista qualquer idéia sobre a natureza elétrica da matéria e de colocar em correspondência a união física entre ímãs e entre átomos, o aluno foi capaz de associar a união entre estes à existência de forças atrativas e compará-la a outras forças de efeitos semelhantes através do estabelecimento de uma *similaridade literal* (esquema 13). Já a analogia (esquema 14) foi estabelecida com o objetivo de esclarecer e enfatizar a relação de reciprocidade existente entre as forças magnéticas, entre as forças interatômicas e entre aquelas existentes entre as mãos invisíveis.

Aluno 5 – Entrevista pós-instrução

A entrevista se iniciou com a recapitulação e posterior discussão, por parte do Aluno 5 e da pesquisadora, sobre suas principais idéias apresentadas na entrevista anterior.

O aluno criticou o fato de ter afirmado que as partículas de água seriam constituídas de um átomo de hidrogênio e dois de oxigênio e afirmou que, atualmente, ele pensava o contrário: dois de hidrogênio e um de oxigênio.

Ele afirmou também que não existiria a substância que ele representou com massinha azul e que seria a responsável pela atração e união entre os átomos. Segundo ele, o que seria responsável pela união seria a energia dos átomos e essa união ocorreria para que chegassem numa energia mais baixa.

No intuito de compreender melhor essas idéias, a pesquisadora lhe solicitou que tentasse representá-las (figura 17).

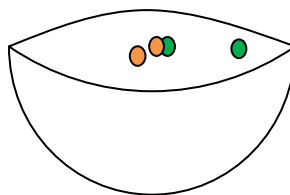


Figura 17. Representação do Aluno 5 para os átomos constituintes da molécula de água.

Ao descrever sua representação (figura 17), o aluno afirmou que representou um só átomo porque ele acreditava que todos os átomos fossem iguais, diferindo somente no número de elétrons e prótons. Ele utilizou uma semi-esfera de isopor (como a que já havia usado na primeira entrevista) e pedaços de massinha verde e laranja. A bolinha laranja ele identificou como sendo o próton, a laranja com verde como sendo o nêutron, e a verde como sendo o elétron.

Em seguida, o Aluno 5 tentou explicar a união entre os átomos:

Aí é... na reação química, quando eu forneço calor esse elétron vai realizar um salto quântico. A medida que esse elétron... ele realizou o salto quântico, quando ele for voltar para o nível de energia dele, ele vai liberando essa energia que eu tinha fornecido, essa energia vai abaixando, vai, diminuindo, essa diminuição de energia vai fazer com o átomo de hidrogênio se ligue com o de... com os de oxigênio, para que eles formem a substância H₂O.

Ele explicou também que a ligação se daria pela força de atração que ocorreria devido à grande estabilidade que os átomos procuram, ou seja, a diminuição de energia já

citada. Assim, segundo ele, os átomos de hidrogênio e oxigênio iriam se ligar, permanecendo juntos (encostou uma esfera de isopor em duas semi-esferas).

O aluno expressou a idéia de ligação interatômica como resultante de um contato físico entre as partículas, como podemos perceber através da citação seguinte:

As meias esferas e o oxigênio (aponta para a esfera maior de isopor), então, aqui eles estariam bem unidos, porque teria como se fosse uma delimitação (aponta para a superfície externa das esferas). Por dentro é oco, onde estão os prótons, os nêutrons e os elétrons. Essa força de atração vai acontecer, vai fazer com que eles se juntem e fiquem um grudado no outro.

O aluno explicou que, após se unirem, iria existir entre os átomos uma força de atração e de repulsão que os deixaria em um “meio termo” para que eles nem se juntassem demais, nem se repelissem totalmente. A seguir, ele estabeleceu uma comparação com o ímã:

É em parte como um ímã, porque aí o ímã vai ter só a força de atração, que eu acho assim: que o ímã vai ter só a força de atração que aí ele vai ficar só atraído. Tem parte do ímã que você vai chegar perto, ele não atrai, fica repelindo, mas aí parte dessa... parte é explicada pelo ímã que é a força de atração e parte é a força de repulsão para não deixar que eles se unam completamente e formem um outro átomo, entendeu?

ANÁLOGO		ALVO
ímãs	↔	átomos
contato físico entre os objetos	↔	contato físico entre os átomos
força de atração magnética	↔	força de atração eletrostática
força de repulsão magnética	↔	força de repulsão eletrostática

Esquema 15. Mapeamento do Aluno 5 na similaridade lateral estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Para o aluno, os átomos se uniriam através de um contato físico entre eles – fato que foi por ele esclarecido ao final da terceira aula de introdução ao tema “ligações químicas”, anterior à realização dessa entrevista. Sendo assim, caso a força de atração fosse muito grande, sem que houvesse a presença da força de repulsão, esses átomos poderiam se fundir em um único átomo.

Ao citar as forças de atração e repulsão presentes no átomo, o Aluno 5 parece não ter percebido o que poderia ter ocasionado essas forças (apesar de, em sua representação, explicitar a existência de prótons e elétrons), responsabilizando o abaixamento de energia – ocasionado pelo “salto quântico” dos elétrons – pela união entre os átomos. Apesar disso, ele foi capaz de mapeá-las para as forças de atração e repulsão do ímã através da *similaridade literal* que estabeleceu (Esquema 15).

Aluno 6 – Entrevista pré-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos estudavam o modelo atômico de Bohr.

Ao ser questionado sobre como ele achava que seria o átomo, o Aluno 6 afirmou que, inicialmente, ele pensava que seria uma esfera com uma substância em seu interior que o diferenciaria de outro átomo dotado de outra substância, mas que, atualmente, devido ao que estava estudando, ele já sabia que o que os diferenciaria seriam os prótons.

Para ele, a molécula de água (termo que ele mesmo utilizou já nessa primeira entrevista) seria composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, “ligados” um ao outro, “agrupados”.

Solicitado pela pesquisadora a representar a molécula de água, o Aluno 6 utilizou bolinhas de isopor do mesmo tamanho, escreveu em duas delas a letra H, na outra a letra O, e colocou-as encostadas sobre a mesa (figura 18).

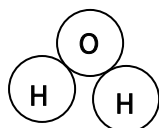


Figura 18. Representação do Aluno 6 para a molécula de água elaborada na entrevista pré-instrução.

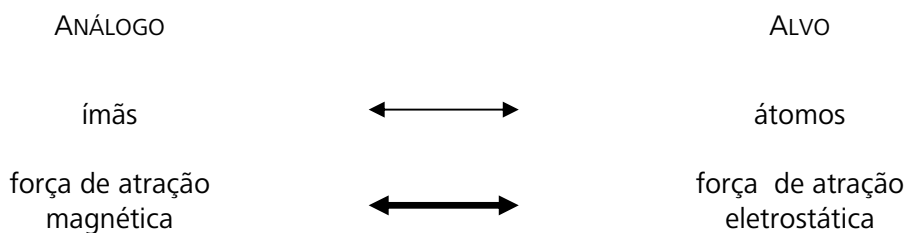
Ao iniciar sua explicação para a formação da água, ele afirmou que, como a professora já havia mencionado em sala de aula, a “divisão” das esferas de isopor não existiria nos átomos (apontou, naquele momento, para a superfície de uma das bolinhas de sua representação). Ele disse também que o quê manteria aqueles átomos unidos poderia ser uma atração entre eles e comparou:

Como se fosse um ímã e tal que... aí, na hora que está formando ali, é... aí atráisse um ao outro. (...) Se você tem um ímã aqui e um ímã aqui (mostra as palmas das mãos), aí o pólo, não sei como é que fala, o pólo positivo dele

atrai, atrairia com o pólo negativo. Aí se tivesse positivo com positivo, aí ia ter repulsão.

Ele explicou que a atração entre os átomos teria a ver com a “força positiva e negativa” e exemplificou:

Se por exemplo o oxigênio, o átomo de oxigênio tivesse, ... fosse carregado positivo e o hidrogênio negativo, aí a formação do negativo com o positivo (aproxima as bolinhas) iria se atrair e ia formar... a molécula.



Esquema 16. Mapeamento do Aluno 6 na analogia estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Esse aluno, apesar de mencionar as forças de repulsão magnéticas, mapeou somente as forças de atração eletrostáticas para as forças de atração magnéticas, demonstrando, através da explicação que se segue, certa compreensão sobre a origem destas.

Ele afirmou que se, por exemplo, um átomo de hidrogênio tivesse três prótons e dois elétrons, ele seria um átomo positivo; e que se o oxigênio, por sua vez, possuísse dois prótons e três elétrons, ele seria um átomo negativo. O aluno também representou suas idéias (figura 19).



Figura 19. Representação do Aluno 6 para os íons.

Apesar de repetir, no início desta entrevista, a informação fornecida pela professora em sala de aula (ao explicar o modelo de Rutherford) da inexistência de uma superfície delimitadora nos átomos, ao afirmar que os átomos se encontravam “presos” uns aos outros na molécula de água, o aluno parecia não ter refletido sobre ela. Ao ser questionado pela pesquisadora sobre como os átomos se “prenderiam”, ele respondeu:

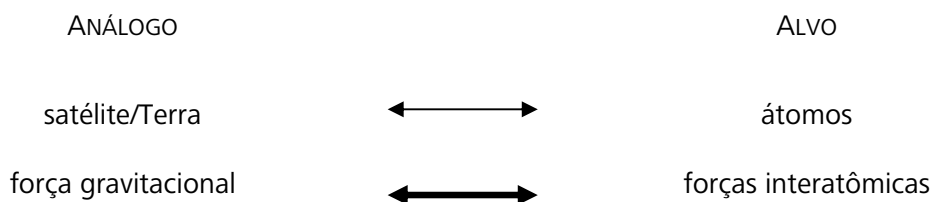
Uai, o átomo é composto de espaço vazio, prótons, elétrons e nêutrons, então não tem como você delimitar. Aí eles vão estar presos, ligados, acho é que através do núcleo que é o maior ali dentro, né? Ocupa mais espaço ali.

Logo em seguida, após a pesquisadora repetir as idéias do aluno para confirmar se ela compreendia bem aquilo que ele estava querendo dizer, ele as modificou, afirmando que os núcleos dos átomos não poderiam estar ligados porque eles eram dotados de cargas do mesmo sinal e que, portanto, ele pensava que “nada” iria se ligar. Nesse momento o aluno parece ter reformulado sua idéia de átomos ligados através de um contato físico entre eles para a idéia de equilíbrio entre forças eletrostáticas:

Será que na verdade eles não..., não estão assim ligados e tal, mas teria, por exemplo, um pouco afastados e..., esse átomo aqui de hidrogênio continua funcionando normalmente, só que atraído? Teria uma atração aqui entre eles, mas eles não se chocam.

E estabeleceu uma comparação:

É igual, por exemplo, o satélite. O satélite nem vem para Terra, nem vai para o espaço. Ele fica ali no meio. Aí que seria mais ou menos isso daqui. Eles ficariam sem encostar, mas atraídos.



Esquema 17. Mapeamento do Aluno 6 na analogia estabelecida entre o satélite e a Terra e os átomos.

O aluno esclareceu que, como o átomo não possui uma delimitação, não iria existir a possibilidade de choque para que um se ligasse ao outro (nesse momento o aluno colocou uma bolinha de isopor de sua representação encostada em outra). Explicou também que haveria uma atração entre eles, mas que eles continuariam separados como no caso do satélite e da Terra “que não entra em choque com a Terra e também não vai embora para o espaço”. Afirmou, então, existir forças de atração e de repulsão entre os átomos que os manteria no estado representado por ele (figura 20).

Uai, pode ser porque aí tendo..., ocorre uma força de atração e uma de repulsão que aí ele..., para manter ele aí nesse estado, para ele não chocar, mas também não ir embora. (...) Alguma coisa a ver com os prótons e os elétrons, que um elétron com um elétron pode causar essa repulsão e talvez um elétron com um próton pode causar essa atração. Aí essa força seria igual, que aí uma anula a outra e eles ficam desse jeito.

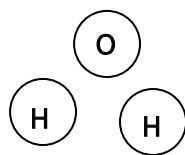


Figura 20. Segunda representação do Aluno 6 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

Apesar de a força gravitacional ser somente atrativa, o Aluno 6, talvez por ainda desconhecer esses aspectos, mapeou as forças de atração e repulsão eletrostáticas para forças de atração e “repulsão” gravitacionais.

Um aspecto importante a ser destacado é o de que, como a professora era também a pesquisadora, ela procurou não enfatizar em aulas que antecederam às entrevistas pós-instrução, aspectos referentes às ligações químicas, especialmente aqueles diretamente relacionados à sua formação. Considerando-se isso, assim como o fato de que o aluno parecia não possuir um amplo conhecimento sobre os princípios da força gravitacional (apesar de ter estudado esse tema na disciplina Física), concluímos que ele foi capaz de perceber aspectos importantes do domínio alvo que favoreceram o estabelecimento de sua analogia.

Em certo momento da entrevista, após o Aluno 6 ter estabelecido a comparação anterior e fornecido as devidas explicações relacionadas a ela, a pesquisadora lhe solicitou que retomasse sua primeira explicação para a união entre os átomos e fornecesse maiores detalhes.

Aqui (mostra a representação da figura 20), por exemplo, ia ser o de oxigênio e o de hidrogênio. Aí, os de hidrogênio iriam se unir (junta as bolinhas que representam os átomos de hidrogênio e, em seguida, fica em silêncio, parecendo refletir sobre o que disse). Unir não, ia ser separado, do mesmo jeito que eu te falei. Como o hidrogênio é negativo e esse aqui é negativo (mostra a outra bolinha que também representa um átomo de hidrogênio) aí ia ter a repulsão dos dois. (...) Eles vão se unir ao de oxigênio, mas repelir um ao outro. Aí a estrutura dele seria essa (mostra novamente a representação da figura 20). Sem ligar também, do mesmo jeito que eu falei antes, né?

Observamos, através dessa citação, que o Aluno 6 adaptou à sua velha explicação, elementos de sua explicação atual, como o fato de os átomos não se “encostarem” e a presença de forças de repulsão.

Após esses esclarecimentos, o aluno interrompeu a pesquisadora e lhe perguntou se existiria uma resposta da química para essas perguntas que ela estava lhe fazendo. Esta, por sua vez, aproveitou a oportunidade para discutir um pouco sobre o papel dos modelos nas ciências e sobre a inexistência de verdades absolutas para os cientistas.

Ao final dessa discussão, a pesquisadora afirmou que o aluno lhe fornecera duas explicações para a união entre os átomos: a de que eles teriam cargas opostas e, por isso, se atrairiam; e a de que existiria uma força de atração que “*anularia*” a força de repulsão mantendo-os em determinada posição. Ela perguntou com qual delas ele concordava, se achava que as duas seriam explicações possíveis, ou se não concordava com nenhuma delas e estaria pensando em alguma outra.

O aluno, inicialmente, afirmou concordar somente com a explicação referente à atração entre os íons, pois ela esclareceria o porquê de dois átomos de hidrogênio se ligarem a um de oxigênio e não se ligarem entre si. Porém, ao tentar explicar porque os átomos não se encostam, afirmou que utilizaria sua segunda explicação, chegando à conclusão de que cada uma delas explicaria um determinado aspecto da ligação entre os átomos.

Aluno 6 – Entrevista pós-instrução

No período desta entrevista, os alunos estudavam ligação iônica em aulas subseqüentes à introdução ao tema “ligações químicas”.

A pesquisadora e o Aluno 6 assistiram trechos de sua entrevista pré-instrução, entre eles aquele em que o aluno disse como a molécula de água seriam composta por dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio. Ela perguntou ao aluno se aquelas suas idéias haviam mudado. Ele afirmou que não, repetindo a mesma idéia anterior.

A pesquisadora solicitou também que o aluno avaliasse suas comparações estabelecidas na primeira entrevista. Com relação à comparação entre os ímãs e os átomos, o aluno afirmou que ela facilitaria a compreensão de aspectos “*básicos*”, visto que a pessoa a quem ela se destinasse teria a idéia de porquê os átomos se atraem – “*porque tem fatores lá dentro, que vem do átomo que vai atrair um fator de outro átomo*” – e não que esses fatores seriam prótons e elétrons.

Por outro lado, com relação à segunda comparação (esquema 17), o aluno foi enfático ao afirmar que ela estava correta e que, para ele, ela explicaria, ao contrário da anterior, o fato de um átomo permanecer junto ao outro sem que eles se afastassem um do outro ou se aproximassem mais devido à atração do próton de um dos átomos pelo elétron do outro e da repulsão desse mesmo próton pelo próton do outro. Ainda segundo o aluno, essas forças de “*ação e reação*” se anulariam.

No período desta entrevista, o aluno já havia estudado na disciplina Física a terceira lei de Newton – lei da ação e reação –, o que parece ter influenciado suas idéias a respeito

das forças eletrostáticas presentes nos átomos. Como apontado, ele imaginava as forças de atração e repulsão entre partículas atômicas como um par de forças do tipo ação e reação, cuja resultante seria nula.

No intuito de compreender um pouco mais as idéias que embasavam sua segunda comparação, a pesquisadora lhe perguntou se a natureza das forças entre o satélite e a Terra seria a mesma da das forças do próton atraindo um elétron ou repelindo outro próton. Ele afirmou:

Um é a gravidade, o outro é por ter cargas opostas.

Nesse momento, a pesquisadora pôde confirmar que, ao mapear as forças gravitacionais para as forças interatômicas, o aluno sabia que elas tinham origens diferentes, sendo, portanto, forças que atuavam de maneiras semelhantes. Esse fato corroborou a natureza analógica dessas idéias.

Quando a pesquisadora lhe solicitou que explicasse, com base em suas idéias sobre ligação, a união entre os átomos de hidrogênio e oxigênio, o aluno afirmou:

Ligação covalente. (...) Elétrons transferindo de um para o outro, compartilhando elétrons. (...) Uai, eu não sei direito não, mas eles vão compartilhar elétrons, os elétrons vão passar do oxigênio para o hidrogênio e do hidrogênio pro oxigênio, assim... e ficam ali e tal no nível de energia ali e isso vai fazer com que ele fique ali. (...) um nível de energia vai passar pelos dois.

A pesquisadora lhe perguntou, então, o que ele chamava de níveis de energia, ao que ele respondeu que seria o local com uma “quantidade de joules” que já estariam ali e por onde passariam os elétrons. E completou:

Por exemplo, um elétron com 10 joules vai ficar circulando ali na órbita dele ali.

A pesquisadora solicitou também que ele lhe explicasse melhor a idéia de elétrons passando de um átomo para o outro. Sua resposta foi a seguinte:

Na hora que você... dois átomos aqui, por exemplo, cada um tem seus elétrons, na hora que começa a compartilhar, por exemplo, o que doou o elétron vai virar um cátion, aí o outro já vai virar um ânion (representa através de gestos a passagem de elétron da direita para esquerda, como se o cátion fosse um átomo à esquerda e o ânion à direita) e aí vai deixar eles atraírem, na hora que passar para cá (representa através de gestos a passagem de elétron da direita para a esquerda), aí é o contrário, vai virar cátion (mostra a mão direita) e ânion (mostra a mão esquerda). E assim vai...

Em seguida, estabeleceu a comparação:

Acho que seria como se fosse assim: tem dois ímãs, e... (...) Então tá assim, na hora que transfere, como se fosse aqui... jogando aqui, lembrando (relembra a localização anterior dos átomos à direita e à esquerda), como se fosse transferir um elétron, você iria trocar. O sul, por exemplo, viria para cá e o norte para cá (coloca o dorso das mãos um de frente para o outro) e assim vão ficar trocando, mas eles sempre vão estar atraídos (inverte a posição das mãos fazendo com que as palmas fiquem uma de frente para outra para representar a inversão dos pólos). (...) Aí na hora que compartilhou, aí virou, aí vai continuar atraído. Compartilhou de novo, aí virou. Aí o que era sul vai virar norte e o que era norte vai virar sul, é a mesma coisa do cátion e do ânion.

ANÁLOGO		ALVO
pólos do ímã	↔	cátions/ânions
força magnética	↔	forças eletrostáticas

Esquema 18. Mapeamento do Aluno 6 na analogia estabelecida entre ímãs e íons.

Como ressaltado anteriormente, no período em que essa entrevista foi realizada, o aluno estudava ligação iônica. Esse fato parece ter influenciado sua explicação para a união entre os átomos de hidrogênio e oxigênio, pois, apesar de denominar a ligação entre eles de "covalente", o aluno tentou adaptar a idéia de compartilhamento de elétrons (que ele pode ter acessado de uma fonte de informação diferente da sala de aula) com a idéia de transferência de elétrons associada por ele à ligação iônica. Essa mesma adaptação parece também ter ocorrido em sua analogia com o ímã.

Aluna 7 – Entrevista pré-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, o estudo do modelo atômico de Rutherford havia sido iniciado em sala de aula. Ela ocorreu no mesmo dia em que o Aluno 5 foi entrevistado.

A aluna 7 disse à pesquisadora que imaginava o átomo como um corpo muito pequeno, impossível de ser visto, dividido em várias partes e que ele não seria uma coisa dura, apesar de ela não saber descrever sua textura.

Com relação à representação das moléculas de água (H₂O) mostrada pela pesquisadora, ela disse que o "O" seria o oxigênio, mas que a "outra letra" (H) e o número (2), ela nunca havia tido a curiosidade de pensar a respeito.

A pesquisadora lhe solicitou, então, que representasse essas suas idéias para que ficassem mais claras. Antes de representar, a aluna lhe explicou que o oxigênio, para ela, estaria "misturado na água", "dissolvido" e completou sua interpretação para o significado

da representação H_2O , dizendo que o “H” seria a água propriamente e que não sabia explicar o significado do índice 2 naquela representação.

Ela colocou quatro bolinhas de isopor (três laranja e uma branca) próximas umas das outras sob a mesa (figura 21) e explicou que as bolinhas laranja seriam a água e a branca seria o oxigênio.

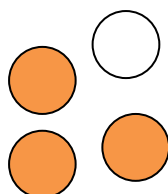


Figura 21. Representação da Aluna 7 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

Na tentativa de obter mais informações, a pesquisadora solicitou que ela imaginasse aquele sistema como se tivesse dado um zoom em uma das esferas laranja representativas da água e também que explicasse como seria essa partícula. A aluna descreveu-a em termos das características físicas que ela imaginava possuir.

Ah, eu pensaria nela como uma esfera mesmo... e incolor. É... assim tipo o átomo mesmo. Não imagino a textura dela não, mas dura ela não é não.

E comparou:

Ah, uma bola assim... acho que não tão... da textura da bola, sabe? Sabe aquelas bolas de plástico? (...) A textura é mais... assim... é mais fino assim o plástico, sabe? Ela também murcha mais fácil sabe? Não é que a es... que a água murcha, sabe? Assim, ela não é totalmente assim oh (mostra uma bolinha de isopor laranja), dura, sabe?

Como a aluna não pensava nas partículas da água como constituídas por átomos de oxigênio e hidrogênio, mas como uma esfera única (“tipo o átomo mesmo”), ela só foi capaz de estabelecer uma comparação que levasse em consideração os atributos de objeto, ou seja, uma comparação de *mera aparência*.

A pesquisadora percebeu que, como ocorreu com a Aluna 3, seria necessário fornecer-lhe a informação de que as partículas de água são constituídas de átomos de hidrogênio e oxigênio unidos, e assim o fez. Em seguida, solicitou à Aluna 7 que representasse como ela entendia essa informação e explicasse sua nova representação (figura 22).

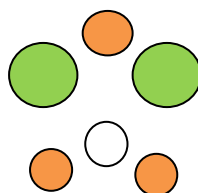


Figura 22. Segunda representação da Aluna 7 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

A Aluna 7 explicou que as duas bolinhas de isopor verde e a branca, apesar de não serem do mesmo tamanho e cor, representavam os átomos de hidrogênio e que as demais, representavam os átomos de oxigênio. Através de sua representação (figura 22) e de suas explicações é possível notar que as quantidades de oxigênio e hidrogênio nas moléculas de água seriam as mesmas, fato que evidencia que o significado do índice associado à proporção entre os átomos permanecia desconhecido para ela.

A pesquisadora lhe pediu que relacionasse sua primeira representação à segunda e ela disse:

Esse aqui junto (aponta para o conjunto da segunda representação), tudo isso, formaria isso daqui (aponta para uma bolinha laranja da primeira representação que se referia à água).

Como em nenhum momento de sua explicação a aluna citou o fato de os átomos estarem unidos, a pesquisadora fez tal afirmação, pedindo à Aluna 7 que lhe explicasse novamente como ela imaginava essa situação. Para isso, a aluna fez uma nova representação (figura 23).

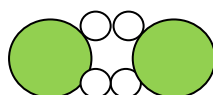


Figura 23. Terceira representação da Aluna 7 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

A aluna identificou, inicialmente, as esferas de isopor maiores e verdes como sendo os átomos de hidrogênio, mas, logo em seguida, mudou de idéia, passando a identificá-las como átomos de oxigênio. Ela explicou:

Porque eu imagino que tenha mais de hidrogênio do que de oxigênio. (...) Porque é muito pouco oxigênio presente na água, sabe? Então eu penso que tenha menos de oxigênio.

Ao ser questionada sobre o quê manteria os átomos unidos, a Aluna 7 respondeu que seria a força de atração entre eles, apresentando-a com a denominação de energia cinética.

É tipo assim: o tanto que eles estão atraídos, sabe? Por exemplo, se eles estão aqui (mostra uma bolinha verde afastada de uma branca) a energia cinética deles é menor e quando eles estão assim (mostra uma bolinha verde próxima de uma branca), a energia deles é bem maior, porque a atração é maior.

E comparou:

Bom, vamos pensar no ímã. Quando eles estão mais distantes é mais... a atração deles, sabe?... um pelo outro, é bem menor do que quando eles estão mais próximos. Quando eles estão mais próximos, é mais difícil (movimenta lentamente uma mão em relação à outra, tentando representar o movimento das partículas)... porque a atração é muito grande.

ANÁLOGO		ALVO
ímãs	↔	átomos
força magnética	↔	forças interatômicas
variação da atração magnética com a distância	↔	variação da atração interatômica com a distância

Esquema 19. Mapeamento da Aluna 7 na analogia estabelecida entre os ímãs e os átomos.

Apesar de nomear erroneamente a atração interatômica, a Aluna 7 foi capaz de mapeá-la para a força de atração magnética. Ela também colocou em correspondência a relação causal distância/força em ambos os domínios, a despeito do seu pouco conhecimento sobre o domínio alvo. Por outro lado, seu conhecimento sobre o análogo, fundamentado em sua experiência cotidiana, parece ter sido determinante na identificação e mapeamento das relações.

A pesquisadora lhe questionou sobre a origem da atração entre os átomos e ela explicou:

No caso das partículas, eu penso assim: dependendo da temperatura, sabe? Mas aí se pensar no caso do ímã, não tem nada a ver. (...) Eu penso assim: quanto maior a temperatura, assim... menor é a atração deles.

Segundo ela, sob baixa temperatura as partículas ficariam quase impossibilitadas de se locomover, o que as manteria próximas umas das outras:

De locomover, tipo assim, por exemplo, quando a água ferve, aí ela está toda locomovendo, aí impossibilitada de locomover porque, por exemplo, quando a água está congelando, sabe? No caso da água elas vão distanciar, né? (Expressa dúvida).

A partir dessa fala é possível perceber que o fato de a aluna associar a temperatura à agitação das partículas e identificá-la como fator responsável pelo afastamento ou união entre elas justifica a utilização inapropriada do termo energia cinética como sinônimo de atração entre partículas. Além disso, durante suas explicações, a aluna demonstrou imaginar como idênticas as interações estudadas no modelo cinético molecular (cujo objetivo principal, nesse nível de ensino, foi o de caracterizar certos aspectos sobre os diferentes estados físicos da matéria) e as interações entre os átomos discutidas na entrevista. Essas confusões podem ter sua origem na ordem em que os temas foram discutidos em sala de aula, pois o estudo do modelo cinético molecular ocorreu anteriormente ao estudo dos modelos atômicos.

A seguir, a Aluna 7 comparou o papel da temperatura com o de uma fita adesiva:

A comparação não vai ser muito boa não. Como esses palitinhos (pega alguns palitos de dente que se encontravam envoltos por um pedaço de fita adesiva). É o durex que está impossibilitando eles de... assim... de mexer... de passar esse para cá, esse para cá, entendeu? Aí é o durex que está impossibilitando eles de... de se... de mudar a posição deles, entendeu?

Levando em consideração a situação da união entre os átomos, com a qual a temperatura e a fita adesiva não compartilham atributos nem relações lógicas, identificamos que a tentativa de comparar esses domínios levou ao estabelecimento de uma *anomalia* pela aluna.

Aluna 7 – Entrevista pós-instrução

Logo no início da entrevista, a Aluna 7 solicitou a palavra e esclareceu que, na primeira entrevista, ela não tinha certeza sobre o que estava dizendo e que falou como imaginava que seria. Ela procurou esclarecer também que, no momento atual, considerava a água constituída por um átomo de oxigênio e dois de hidrogênio e fez a representação seguinte:

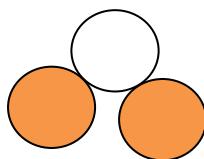


Figura 24. Representação da Aluna 7 para a água elaborada na entrevista pós-instrução.

A aluna identificou as bolinhas laranja como representativas dos átomos de hidrogênio e a branca como representativa do átomo de oxigênio, e identificou o conjunto como sendo um "átomo de água".

A pesquisadora lhe solicitou que identificasse possíveis aspectos positivos e negativos de sua última representação na entrevista anterior (figura 23). A aluna ressaltou que havia colocado um "átomo de água" muito próximo ao outro e que, no momento da segunda entrevista, acreditava que eles estivessem mais afastados.

Quando a pesquisadora lhe questionou sobre em que aquela representação (figura 23) diferia da atual (figura 24), a aluna fez a representação seguinte (figura 25) para demonstrar o distanciamento entre as partículas constituintes da água:

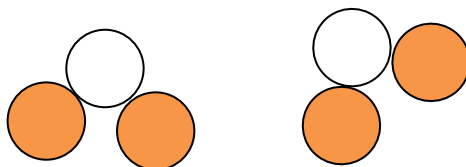


Figura 25. Segunda representação da Aluna 7 para a água elaborada na entrevista pós-instrução.

Por outro lado, como aspecto positivo, a Aluna 7 destacou o fato de a temperatura determinar o quão próximos ou afastados ficam essas partículas.

A pesquisadora, então, lhe perguntou se ela mantinha a idéia apresentada na entrevista anterior de que a temperatura seria responsável por manter os átomos ligados, ao que ela respondeu:

Eu acho que não tem nada a ver com a temperatura não. Mais ou menos. Porque se a temperatura aumentasse, eles iam receber energia, sabe? Aí eles não iam ficar no estado mais estável, eles iam se separar. É mais... tem a temperatura e tem os... o estado que eles ficam com menor energia, sabe?... como eles são encontrados.

Segundo ela, então, os átomos se ligariam após liberarem energia e atingirem o "estado estável" no qual se manteriam ligados, estado este que dependeria da temperatura a que o sistema estivesse submetido.

Solicitada a explicar como imaginava a ligação entre os átomos, a Aluna 7 disse que imaginava como na figura 7.8 do livro (figura 26), com a diferença de que as esferas não se interpenetrariam tanto.

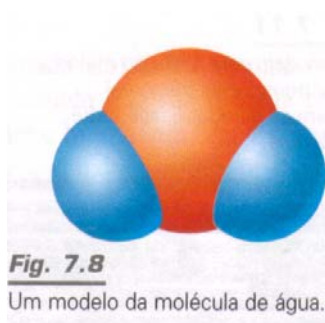


Figura 26. Representação para a água apresentada no livro texto usado pelos alunos entrevistados.

E continuou sua explicação:

Aí eu imagino como se fosse assim: que uns níveis de energias (faz círculos com as mãos) passassem pro outro, sabe?... mas os elétrons não se cruzassem [sic]. Tipo: não se encontrassem uns com os outros nos níveis.

Na tentativa de compreender melhor essa idéia, a pesquisadora lhe solicitou que explicasse o que seriam os níveis de energia. Ela respondeu que seria o único local possível para que o “átomo” (usou o termo átomo no lugar de elétron) percorresse, fazendo círculos com os dedos no ar em movimentos nos sentidos horários e anti-horários, na tentativa de explicitar sua idéia. Ela esclareceu também, através de explicações mais detalhadas, o motivo pelo qual os átomos permaneceriam unidos:

(...) só o fato de estar passando (elétrons) nos níveis, sabe? assim... eu acho que seria suficiente para eles estarem unidos, mas esse é o modelo que assim... que vem na minha cabeça, sabe? (...) Acho que o encontro dos níveis, sabe? Assim (faz circunferências que se interceptam, com as mãos no ar). Não dos níveis, porque não é uma coisa material. Então, dos elétrons que toda hora estão passando ali (faz circunferências com as mãos para representar o movimento dos elétrons de átomos diferentes em sentidos diferentes: horário e anti-horário), sabe? Acho que é esse fato de eles estarem próximos, os elétrons de um átomo e de outro para unir esses dois.

Relacionando suas idéias anteriores – sobre “estado estável” e temperatura – com essa idéia de elétrons unindo átomos, a Aluna 7 disse também que o fato de os átomos não receberem energia faria com que eles permanecessem unidos, pois teriam encontrado “uma estabilidade para aquela união” e que uma menor temperatura facilitaria a aproximação entre eles quando isolados.

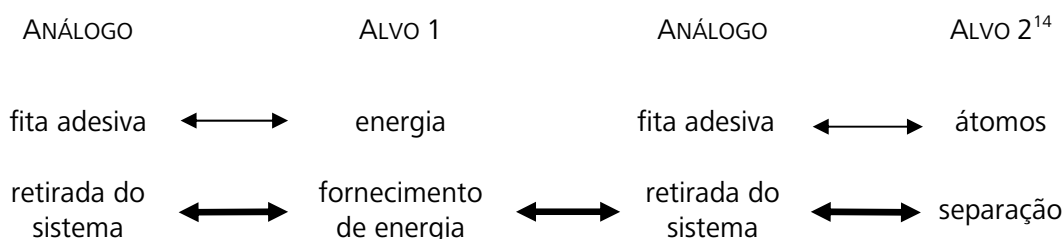
A pesquisadora, no intuito de investigar suas idéias sobre a comparação entre o “durex” e a temperatura estabelecida na entrevista pré-instrução, perguntou à aluna se,

para ela, a união entre os átomos seria semelhante ao que ela pensava naquela ocasião. Ela respondeu:

Não. Acho que não, porque e depois? Porque eles podem se separar depois, por causa da temperatura. E não tem como eu comparar com o durex porque... porque que ele vai separar, entendeu?

Após esses esclarecimentos, a pesquisadora solicitou que a aluna estabelecesse uma comparação para a união, ao que ela afirmou:

Assim, por exemplo, o negócio do durex, mais ou menos, né? Porque tem lá, eles estão unidos, aí se você tirasse o durex, que seria no caso, se você fornecesse energia para eles... se você tirasse... se você mesmo, sabe?... tirasse aquele durex, eles se afastariam, entendeu?



Esquema 20. Mapeamento da Aluna 7 na analogia estabelecida entre a fita adesiva e a energia.

A Aluna 7 colocou em correspondência a fita adesiva e a energia, combinando a ausência da primeira ao fornecimento da segunda e, a partir dessas, foi capaz de estabelecer uma segunda combinação relacional referente a um domínio alvo diferente – os átomos –, qual seja, a separação entre eles.

Aluna 8 – Entrevista pré-instrução

Esta entrevista com a Aluna 8 foi realizada no período em que os alunos estudavam a formação de íons, após terem realizado o estudo dos modelos atômicos.

Ao ser questionada sobre como imaginava o átomo, a aluna disse que, para ela, era difícil imaginá-lo, pois ele *"mexe, mas só que não pensa"*. Além disso, disse imaginar que cada átomo possuía uma cor e que, mesmo sabendo que não estaria correto, para ela, o átomo pertencente a um suco não poderia ser o mesmo pertencente à água. Este se modificaria com as modificações realizadas pelas pessoas. E completou:

¹⁴ A Aluna 7 selecionou o alvo 1, enquanto a pesquisadora, ao solicitar-lhe uma comparação para a união entre os átomos, selecionou o alvo 2. A seguir, a aluna relacionou ambos a partir dos predicados combinados numa tentativa de explicar o efeito da energia na união entre os átomos.

(...) *Eu acho assim, eu não concordo, eu acho que tem que ter alguma coisa ali no átomo, alguma coisa específica pra ser diferente porque, senão, muitas coisas seriam iguais. Porque a quantidade de átomos que a gente tem é muito pouca em relação à quantidade de coisas que existem, à quantidade de coisas que a gente pode formar com aqueles átomos.*

Com relação ao significado da representação H_2O , ela disse que seriam dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio e utilizou os materiais disponibilizados pela pesquisadora para representar suas idéias a esse respeito (figura 27).

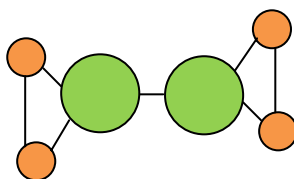


Figura 27. Representação da Aluna 8 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

Ela explicou:

Como se fosse assim: um átomo ligado no outro pelo átomo de oxigênio (mostra as duas bolas de isopor verdes). Não... a substância, um negócio da substância, uma partícula da substância está ligada a outra pelo do oxigênio (tenta corrigir a utilização inicial do termo átomo, modificando-a para partícula) e dentro dela estão ligados os dois de hidrogênio (mostra as quatro bolinhas laranja, cada duas fixadas em uma verde com o auxílio de palitos de dente). E que aí, como se fosse assim, e aqui teriam outras assim, outros átomos, mas ligado no oxigênio (aponta para a lateral de uma das bolas verdes e parece se referir a mais partículas de água ligadas aos oxigênios, além das que ela representou). E essas aqui não teriam contato uma com a outra (aponta para as duas bolinhas laranja, referindo-se ao contato entre os átomos de hidrogênio de duas partículas de água diferentes). Se fosse para ter contato, eu acho que seria tipo uma bolinha com a outra, uma do lado com a outra (liga as duplas de bolinhas laranja de um mesmo lado com palitos de dentes).

A pesquisadora lhe solicitou que esclarecesse o que ela estava chamando de partícula e a aluna respondeu que seria cada parte formada por duas bolinhas laranja e uma verde. Ela esclareceu também que, para diferenciar os átomos de hidrogênio e oxigênio, utilizou esferas com cores diferentes, e explicou que imaginava que o átomo de oxigênio seria transparente, porque ele está presente no ar, que é transparente. Por outro lado, o hidrogênio seria azul, porque ele está presente em maior quantidade na água, que é azul.

Ao explicar a formação da água, ela disse que seria pela atração que as partículas se uniriam. Ela afirmou que no ar essas partículas estariam mais "soltas" e não teriam "tanta força de atração", devido a uma maior agitação entre elas. Já na água, como essas partículas estariam mais "juntas", acabariam se ligando devido a uma maior aproximação

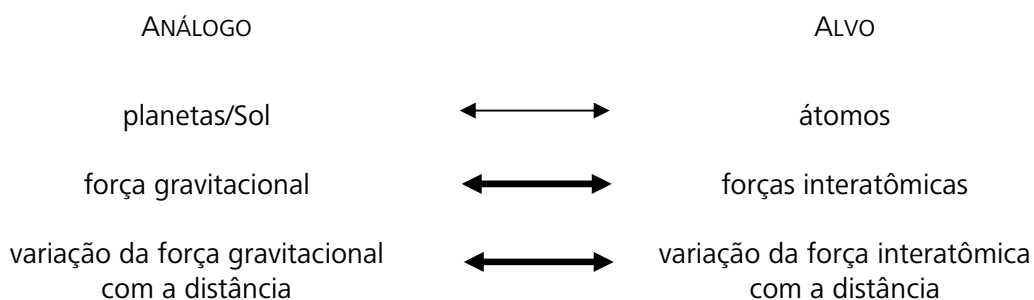
entre elas. Ela explicou também que essa aproximação ocorreria devido à diminuição da temperatura e conseqüente diminuição da agitação das partículas.

(...) Então, por exemplo, no ar essas duas partículas (movimenta os dois conjuntos formados por duas bolinhas laranja e uma verde que ela separou), aí você vai resfriando, aí elas vão... vão se atraindo (aproxima os dois conjuntos). Elas vão movimentar menos, aí elas vão até se chocar (liga um conjunto no outro através do palito como na representação inicial). Só que quando elas se juntam, elas não param de agitar, elas continuam agitando (movimenta os dois conjuntos ligados para frente e para trás). Até porque se elas se juntassem mais elas iam virar água sólida.

A Aluna 8, ao contrário da Aluna 7, demonstrou certa compreensão do modelo cinético molecular estudado, destacando a influência da energia cinética (que ela associou à temperatura) na atração entre as partículas de água. Apesar disso, ela parecia imaginar o que chamou de choque entre as partículas como um contato físico entre elas.

Ao ser solicitada a explicar a origem da atração entre as partículas, a Aluna 8 afirmou que, pelo fato de serem partículas iguais, elas se atrairiam. Ela afirmou também que a força de atração seria algo presente nas partículas que, ao se unirem, juntariam a força "como se fosse uma só". E estabeleceu uma comparação para a força de atração:

Ah eu acho que eu compararia tipo com o sistema solar, porque é como se fosse... que existisse... porque os planetas tem que ter uma força para girar em volta do Sol e quando tipo, pela gravidade, quando ele... quanto mais perto, maior a força de atração deles, então, quanto mais perto, então, as duas partículas, maior vai ser a força de atração delas.



Esquema 21. Mapeamento da Aluna 8 na analogia estabelecida entre os planetas e o Sol e os átomos.

Como a Aluna 7, ao estabelecer uma analogia entre os ímãs e os átomos na entrevista pré-instrução, a Aluna 8 foi capaz de perceber e mapear, além das forças de diferentes naturezas, a relação causal distância/força na analogia que estabeleceu dos planetas e do Sol com os átomos, apesar de considerar a atração como algo inerente às partículas:

A atração eu acho que ela já existe assim... de uma saber que tem que ir na outra. Mesmo que elas estejam afastadas, elas estão tentando, como se elas tivessem tentando ir. Mas aí não tem como por causa da temperatura, de como elas estão agitando, e tal. Mas aí quando vai diminuindo, elas vão tipo... tipo indo assim, aí até que choca.

A Aluna 8 explicou também que essa força de atração existiria tanto em torno dos átomos quanto das partículas “*como se fossem camadas*” e que quando se chocassem, as camadas individuais se fundiriam em uma camada única que garantiria que as partículas e os átomos permanecessem unidos.

Aluna 8 – Entrevista pós-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos estudavam ligação covalente.

A pesquisadora recapitulou alguns trechos da entrevista anterior, com o propósito de verificar quais as críticas da aluna às idéias preliminares e o que havia mudado desde o período daquela entrevista. Com relação às suas idéias sobre o significado da representação H_2O , a aluna informou que mantinha as mesmas idéias da primeira entrevista, porém achava que a maneira com que os átomos se ligavam seria diferente:

É parecido. Tipo assim... lá eu tinha uma idéia de energia, assim sabe?... de força, só que aqui, hoje eu já sei porque eles se unem, por causa das forças que se anulam, as forças de atração e de repulsão que deixam eles ligados. Mas lá eu sabia que era uma força, mas eu não sabia como assim...

Ela afirmou também que os átomos de oxigênio e hidrogênio compartilhariam elétrons o que, segundo ela, seria explicado da seguinte maneira: “*um divide com o outro o elétron para ficar em menor estado de energia*”. A seguir, ela comparou:

Eu pensei que tipo assim: é como se eu fizesse uma comparação assim... pensando que os átomos são tão interesseiros quanto as pessoas, porque assim, né? Eu te empresto uma coisa, mas, depois, você tem que me emprestar isso!

A aluna demonstrou, através dessa comparação, entender a “*divisão de elétrons*” entre os átomos como um empréstimo mútuo de elétrons e, por isso, comparou a ligação entre os átomos de hidrogênio e oxigênio a uma troca de favores entre pessoas que possuem uma o objeto de interesse da outra. Através dessa comparação, observamos que ela não levou em consideração o equilíbrio de forças eletrostáticas citado anteriormente, o que faz dela uma comparação de *mera aparência*, fundamentada nas características do modelo de ligação covalente discutidas em sala de aula.

A aluna criticou também sua representação para as partículas de água apresentada na primeira entrevista, dizendo que o hidrogênio estaria “em contato” somente com o oxigênio e não entre si como representado anteriormente com o auxílio de palitos de dente (figura 27). Além disso, os átomos de oxigênio de partículas diferentes não se ligariam, apenas se encontrariam próximos. Ela explicou suas novas idéias:

Porque o átomo de hidrogênio, ele não tem necessidade de ligar com outro para ficar em mais baixo estado de energia. Ele só tem necessidade de ligar com o oxigênio. (...) Ah, porque para ele ficar com o número de elétrons mínimo para ficar com estado de mais baixa energia. Se ele ficar com outro, aí vai ultrapassar esse número. Ele vai ficar compartilhando mais do que ele tem que compartilhar.

A pesquisadora solicitou que ela elaborasse uma representação fundamentada em suas novas idéias para que pudesse compreendê-las melhor. Então, a Aluna 8 fez quatro desenhos em seqüência (figura 28), cada um deles após uma mudança de idéia.

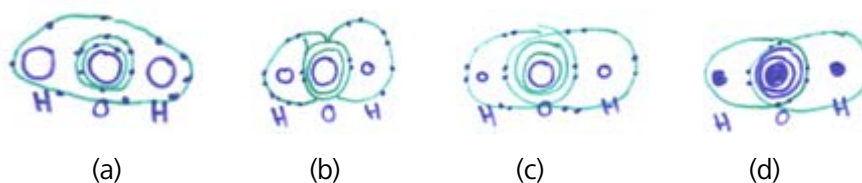


Figura 28. Representações da Aluna 8 para a água na ordem que foram elaboradas na entrevista pós-instrução.

Em cada uma das representações, a aluna identificou o oxigênio como átomo central e os átomos de hidrogênios como periféricos, conforme pode ser observado na figura 28. Os círculos e elipses representados em verde foram por ela identificados como níveis de energia dos átomos e os minúsculos pontinhos azuis sob eles seriam os elétrons. Além disso, os círculos maiores e centrais em cada representação, ora preenchidos, ora abertos, representados em azul, seriam os núcleos dos átomos.

A primeira mudança de idéia da aluna ocorreu porque, segundo ela, seria impossível existir um compartilhamento de elétrons entre os três átomos simultaneamente. Este foi representado através da elipse externa que envolvia os três átomos (figura 28a). Ela explicou também que mudou de idéia com relação à sua segunda representação (figura 28b) porque naquela ela não considerou a sobreposição dos últimos níveis de energia dos átomos de hidrogênio e oxigênio. Por outro lado, a terceira representação (figura 28c), inicialmente foi considerada correta porque o último nível de cada hidrogênio passava pelo seu núcleo e pelo núcleo do oxigênio (no desenho isso corresponde às duas elipses mais externas, cuja interseção se dá na representação do átomo de oxigênio com seus dois níveis de energia). E,

finalmente, sua mudança de idéia a partir dessa terceira representação, foi assim descrita por ela:

Não, está errado! Porque eu estou fazendo elétron aparecer aí que nem mágica! É porque eles estão sobrepostos, mas eu não consigo explicar isso muito bem... mas o oxigênio só tem seis e o hidrogênio só tem um, só que aí eles (não foi possível identificar o que a aluna falou nesse trecho da gravação), passa a ter dois e oito. (...) Aí esse (aponta para a representação do hidrogênio da direita na figura 28d) ... aqui os dois elétrons estão aqui: o dele e o que ele está compartilhando com o oxigênio (se localizam entre os núcleos em sua representação). E esses estão aqui (aponta para as bolinhas que representam o outro par de elétrons compartilhados entre o oxigênio e o hidrogênio da esquerda). E aqui estão os outros dois pares do oxigênio (aponta para as bolinhas que se localizam acima e abaixo do núcleo de oxigênio em sua representação, sob as elipses que ela chamou de último nível de cada átomo de hidrogênio) e aqui (aponta novamente para os dois pares entre os átomos) os outros dois pares que ele (se refere ao oxigênio) está compartilhando, que está usando de compartilhamento [sic].

Solicitada pela pesquisadora, ela comparou sua última representação (figura 28d) com a representação da primeira entrevista. Nessa comparação, ela afirmou que optou pela representação atual porque, através dela, seria possível mostrar os níveis de energia e, através da primeira, só seria possível visualizar os átomos. Ela disse também que os palitinhos utilizados na primeira representação corresponderiam aos últimos níveis de energia sobrepostos da segunda.

Ao ser questionada sobre a idéia de que os átomos possuíam cor (expressa na primeira entrevista), a Aluna 8 afirmou que estaria “*completamente errado*”, porque para ela os átomos não teriam cor ou cheiro e se difeririam somente com relação ao tamanho e às formas com que se combinariam.

Com relação à comparação estabelecida pela aluna na primeira entrevista entre os planetas e o Sol com os átomos, incentivada pela pesquisadora a continuar fazendo críticas e comentários, a aluna identificou a seguinte limitação:

(...) Primeiro assim porque não tem assim... o centro, não tem assim um centro, sabe?... como se fosse... O sistema solar tem o Sol, tudo gira em torno do Sol. Agora ali não! Ali é cada átomo por si e eles só estão ali para poder ficar em mais baixo estado de energia e, no sistema solar, eles estão ali por causa da força. (...) Não, não é independente. É tipo assim: no sistema solar tudo gira em torno do Sol. Ali, cada uma ajuda a outra, como se fosse assim. Não tem assim a melhor...

Segundo ela, quando estabeleceu aquela comparação, imaginava que a formação das partículas de água dependia do átomo de oxigênio, ou seja, ele seria o responsável por atrair os átomos de hidrogênio como o Sol seria o responsável por atrair os planetas.

Naquela ocasião, portanto, a aluna colocou em correspondência os átomos de oxigênio e o Sol e os de hidrogênio e os planetas, embora não tivesse expressado essa idéia ao explicar sua comparação.

A aluna também expressou, na crítica às suas idéias iniciais, grande confusão com relação aos termos força e energia, utilizando-os indistintamente:

São duas forças diferentes: a força de atração é menor do gasoso para o sólido, agora a força que foi necessária para eles se separarem... quando, tipo assim está sólido, aí tem que fornecer uma energia... uma força muito grande assim, para eles se separarem e mudarem de estado físico.

Sobre a idéia da existência de uma camada de força em torno dos átomos que, ao se unirem, passariam a ter uma camada de força total, a aluna afirmou que seria exatamente o contrário, pois, ao se unirem eles teriam menos força do que se estivessem separados, já que se tornariam mais estáveis. E concluiu:

Ah! Eu acho que não tem assim essa força... força do átomo, acho que não tem isso.

Ao final da entrevista, a aluna foi solicitada a estabelecer uma comparação para a união entre os átomos. Ela disse que não conseguia imaginar uma comparação diferente da apresentada na primeira entrevista, mas ressaltou algumas modificações:

Eu podia tipo falar assim: O Sol é o núcleo, os planetas são os elétrons e a órbita dos planetas são os níveis de energia. (...) É, eu podia comparar com o sistema solar, mas ia ter que ter várias modificações. Eu vejo mais fundamento, mas eu modificaria ela [sic]. (...) Tipo assim: lá, eu comparei os planetas com cada átomo e, hoje em dia eu usaria assim... como se fossem dois sistemas solares, aí, eu falaria assim que o último planeta, tal... os pares... aí eles iam ver que a última órbita ia ficar entre os dois ali, entre os dois átomos, que seriam os dois sistemas solares.

ANÁLOGO		ALVO
Sol	↔	núcleo
planetas	↔	elétrons
órbitas	↔	níveis de energia

Esquema 22. Correspondências estabelecidas pela Aluna 8 na reformulação da comparação entre os planetas, o Sol e os átomos.

Na tentativa de reformular sua comparação anterior, a aluna colocou em correspondência os elementos dos domínios análogo e alvo sem, entretanto, fazer nenhuma

combinação de predicados, seja ela relacional ou não. Isso pode ter sido influenciado pelo fato de a aluna tentar manter a mesma comparação, apesar de negar a existência de forças no átomo, o que impossibilitou o mapeamento e, conseqüentemente, o estabelecimento da analogia. Apesar de no início da entrevista a aluna ter mencionado a existência de forças de atração e repulsão, ela fundamentou seu modelo para a união entre os átomos de hidrogênio e oxigênio na idéia de ausência de forças nos átomos. Segundo ela, o que os manteria unidos seria a sobreposição dos seus níveis de energia mais externos, nos quais ocorreria o que ela chamava de "divisão de elétrons".

Aluna 9 – Entrevista pré-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos estudavam a classificação periódica dos elementos, após terem estudado os modelos atômicos.

A Aluna 9, conforme manifestou na entrevista, apresentava a idéia de átomo como algo pequeno, sem um formato definido e dotado de tamanho que poderia variar de um para outro.

Ela afirmou que a representação H_2O lhe remetia à água, que seria a mistura de das substâncias hidrogênio e oxigênio, identificadas por ela através dos símbolos "H" e "O". Segundo a aluna, essas substâncias estariam "próximas, bem juntinhas" como ela representou na figura 29.

É importante ressaltar que, ao longo de toda a entrevista, a Aluna 9 utilizou os termos substância e átomo, ora como sinônimos, ora estabelecendo uma distinção entre eles. Esse fato, porém, não comprometeu nossa compreensão das idéias que fundamentam suas explicações.



Figura 29. Representação da Aluna 9 para a água elaborada na entrevista pré-instrução.

A aluna, explicou assim sua representação:

Desse jeito, é como se fosse, o hidrogênio como se fosse uma bolinha assim (mostra no desenho a bolinha vermelha) e o oxigênio assim (mostra no desenho a bolinha marrom). Aí a água mesmo seria o oxigênio e o hidrogênio

juntos (desenha uma bolinha vermelha encaixada em uma marrom), como uma única coisa. (...) Encaixados.

Para explicar como o hidrogênio e o oxigênio se uniriam, ela afirmou que deveria existir algo em comum entre eles que poderia estar relacionado às partículas constituintes dos átomos, citando os prótons e nêutrons e, posteriormente, os elétrons.

Ela supôs que os elétrons situados em um mesmo nível de energia de dois átomos diferentes poderiam ser confundidos por esses átomos (pois eram partículas iguais) que se ligariam formando um nível de energia maior no “átomo da água”.

Ela explicou que o “reconhecimento” entre os átomos com o mesmo número de elétrons no mesmo nível de energia se daria através do núcleo e comparou:

O núcleo é o cérebro do átomo, não é? (...) É, como se fosse. Eu acho que o núcleo é que mandaria ali, talvez. Como se os átomos das mesmas substâncias ficassem próximos. Aí, quando vê um átomo com o mesmo número de elétrons, eles se confundem e aí vai se aproximando. Talvez seja isso.

Ela afirmou ainda que eles se chocariam e a partir daí ficariam próximos, formando a “mistura”. A aluna, antes de fornecer essa explicação inicial, afirmou que não saberia explicar como os átomos “reconheceriam” uns aos outros para que a ligação entre eles ocorresse. Quando a pesquisadora sugeriu que, apesar disso, ela tentasse fornecer uma explicação, a aluna pareceu utilizar o que foi chamado por Piaget de *fabulação*, ou seja, a criação de uma explicação fantástica (na qual não crê) sobre um aspecto desconhecido – processo comum entre as crianças. Essa suspeita foi refutada quando, durante a entrevista pós-instrução, a aluna discutiu as idéias que fundamentaram essa explicação.

Após a explicação da aluna, a pesquisadora solicitou que ela estabelecesse uma comparação para a união entre os átomos. A resposta da aluna foi a seguinte:

Semelhante ao estado sólido da substância, que você mesma falou que fica junto. As substâncias ficam próximas e sem se mexerem, assim (fecha as duas mãos e reproduz um movimento de vibração). Acho que ficaria tipo isto, assim, próximo, ia ficar pertinho quando for da mesma substância. Agora de outra substância ia ficar... Não. Talvez ficasse..., de substância diferente, ficasse até próximo, porque dependendo da carga, se uma for positiva e a outra for negativa. Não sei. Mas, difícil... Deixa eu tentar explicar. Ah, é isso mesmo! Uma substância igual, os átomos da substância iam ficar próximos ou até mesmo longe. Ah, não sei, isso está confundindo! Porque aquele negócio que a gente já estudou de cargas negativas se unem e cargas positivas se repelem, isso que está na minha cabeça, isso está me atrapalhando.

A Aluna 9 não foi capaz de concluir a comparação, porque percebeu que sua explicação apresentava algo de incoerente com outras idéias que ela apresentava sobre

atração e repulsão eletrostática. Ela associou suas idéias sobre “*substâncias diferentes*” a átomos de cargas opostas e “*substâncias iguais*” a átomos de mesma carga e explicou que:

(...) o mesmo átomo da mesma substância ia ficar longe um do outro, só que como pra formar a água, já que é uma substância de oxigênio e outra de hidrogênio. Como são diferentes, elas iam se aproximar mais, porque são diferentes, né? Eu acho que é isso. Agora deu pra explicar melhor. (...) Justamente por causa desse negócio que a gente aprendeu que cargas positivas e negativas se unem mesmo e a positiva com positiva se repelem.

Após esclarecer o que determinava a união entre os átomos, a Aluna 9 comparou:

Igual aquele negócio que as pessoas vivem falando, que os opostos se atraem, é como se o átomo ou a substância, né?... do hidrogênio e do oxigênio fossem diferentes, então elas iam se unir. Agora pessoas iguais dizem que nunca dá certo! E que, é como se fossem os átomos de mesma substância iam se repelir e não iam conseguir juntar assim.

ANÁLOGO	↔	ALVO
pessoas de temperamentos semelhantes	↔	átomos de mesma carga
pessoas de temperamentos diferentes	↔	átomos de cargas opostas
atração devido aos laços afetivos	↔	atração devido à natureza das cargas elétricas
repulsão devido aos laços afetivos	↔	repulsão devido à natureza das cargas elétricas

Esquema 23. Mapeamento do Aluna 9 na analogia estabelecida entre pessoas e átomos.

A aluna explicou também que, devido às vibrações dos átomos eles se aproximariam e se “*encaixariam um no outro*” e comparou:

Sabe aquelas... como é que chama?... aquelas rodinhas que tem no relógio que até tem no desenho animado, que uma vai encaixando na outra e vai rodando (faz o movimento com as mãos)? (...) Isso, engrenagem! Talvez fosse isso! Talvez não, é como se fosse isso mesmo! A vibração assim, aí vai encaixando daquele jeito.

A nosso ver, apesar de a Aluna 9 ter sido capaz de perceber e mapear aspectos abstratos e relacionais (como evidenciado no esquema 23), a idéia de ligação física entre as partículas – demonstrada pela comparação de *mera aparência* entre a engrenagem e a união entre os átomos – coexistia com a de interação eletrostática entre elas.

Aluna 9 – Entrevista pós-instrução

No período em que esta entrevista foi realizada, os alunos estudavam ligação covalente.

Ao longo desta entrevista, a pesquisadora repassou alguns trechos principais da entrevista anterior, solicitando que a aluna os discutisse sob o ponto de vista das idéias que possuía naquele momento.

A aluna esclareceu que sua representação inicial (figura 29) tinha fundamento, exceto pelo fato de ela ter representado somente um átomo de hidrogênio. Para ela, a representação adequada seria aquela em que houvesse “*duas partículas de hidrogênio ligadas a uma de oxigênio*” (figura 30). Ela afirmou também que a união entre as partículas ocorreria devido à “*troca de elétrons*”, “*divisão de elétrons*”.



Figura 30. Representação da Aluna 9 para a água elaborada na entrevista pós-instrução.

Porque eles não estão encaixados, eles só estão dividindo o elétron. Aí eu acho... eu acho não, eu penso igual a última aula: que o elétron era dividido na região assim, porque o nível de energia não é um nível, é uma região. Daí essa região fica aqui junto das duas pra elas compartilharem o elétron. Daí eu acho que eles se juntam assim. (...) A molécula de hidrogênio... não, o átomo de hidrogênio com o do oxigênio.

A aluna explicou que a “*divisão dos elétrons*” faria com que eles ficassem juntos, porque elétrons que passassem em determinado momento em um nível de um dos átomos, poderiam passar, posteriormente, para o nível do outro e vice-versa.

Ela criticou também sua idéia de união entre os átomos apresentada na primeira entrevista:

Porque eu não tinha conhecimento dessa troca de... dessa divisão de elétrons. Aí eu pensava mesmo que era por causa da atração, que um juntava com o outro por causa de força de atração mesmo.

A pesquisadora solicitou que ela comentasse sua idéia de que os átomos se reconheceriam por possuírem o mesmo número de elétrons em um mesmo nível de energia.

Ela afirmou que um átomo não se confundiria com o outro e ressaltou, novamente, que seria a “*necessidade de divisão de elétrons*” que os manteria unidos.

Como a comparação com o cérebro, estabelecida na primeira entrevista, estava relacionada à idéia de reconhecimento entre os átomos, a pesquisadora lhe perguntou se, naquele momento, ela faria essa mesma comparação. A aluna respondeu, esclarecendo suas idéias anteriores que fundamentaram a comparação:

Não, o cérebro, eu acho que hoje..., hoje eu penso que o átomo não tem cérebro, não. Não tem ali uma parte que manda mais, sabe? Eu acho que não tem isso. (...) Por causa disso mesmo, que os prótons e os elétrons fazem mais coisas. O núcleo pra mim não faz nada.

(...) Eu pensei pra explicar ali (se refere à comparação da primeira entrevista) foi naquela célula, sabe célula que a gente estuda na quarta série. Aí tem o núcleo, tem aquelas partes da célula. Eu pensei naquela forma, daquela forma.

No estudo de citologia no ensino fundamental, é comum encontrarmos nos livros de Ciências explicações do tipo ‘o núcleo controla as funções das células’. Por isso esse esclarecimento da Aluna 9 foi fundamental para que não fizéssemos uma interpretação errônea de suas idéias. Com essa explicação, ela confirmou que, na época da primeira entrevista, suas idéias de atração eletrostática e encaixe eram desvinculadas no que diz respeito à união entre os átomos. Assim, parece que sua comparação com o cérebro foi uma tentativa de associar a origem do encaixe a um sistema de controle como o existente nas células, não sendo, portanto, uma explicação fantástica, como chegamos a supor inicialmente.

Após a pesquisadora mencionar a comparação estabelecida anteriormente entre a união entre os átomos e o encaixe de engrenagens de um relógio, a aluna tentou explicá-la:

Porque ali eu pensava que a engre... que o... é como se o... se o átomo tivesse o formato assim parecido, que um ia se encaixar no outro. Hoje eu não penso isso, eu comparo com o... a engrenagem do relógio e os níveis de energia do átomo.

Para esclarecer suas novas idéias, a aluna desenhou, para representar os átomos, um círculo e um semi-círculo com linhas externas irregulares (figura 31). No centro de cada um deles, ela desenhou uma bolinha preenchida para representar o núcleo e, nas linhas irregulares, desenhou bolinhas para representar os elétrons. Em seguida, ela reformulou a comparação apresentada na entrevista pré-instrução:

Mas hoje eu penso que aqui... o formato da engrenagem, eu penso como se fossem os níveis de energia. Daí ele faz sempre uma troca de elétron. Um

elétron está aqui, ele vai passando aqui (mostra na figura 31 um dos átomos de sua representação e indica um movimento circular na região de encontro dos dois átomos), mas ao mesmo tempo que ele está passando aqui, tem outro passando aqui pelo outro átomo. Você consegue entender? (...) e ao mesmo tempo que eles se chocam eles (se refere aos elétrons) vão trocando assim, sabe? Assim, o que estava aqui (aponta para um dos átomos) passa pra cá (aponta para o outro), o que estava aqui passa pra cá (inverte as indicações anteriores).



Figura 31. Representação da Aluna 9 para ilustrar sua comparação da união dos átomos com as engrenagens.

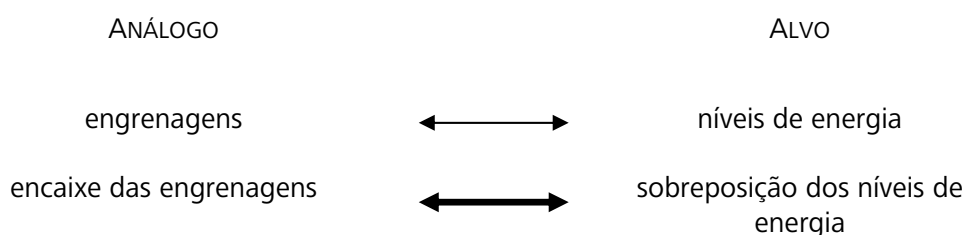
Nessa reformulação, a aluna parece ter fundamentado suas novas idéias no aspecto descritivo do movimento circular dos elétrons (estudado no modelo de Bohr) e no modelo de ligação covalente recentemente discutido em sala de aula.

Quando solicitada pela pesquisadora a explicar se, de acordo com suas novas idéias, existiria algo que fizesse com que os átomos se encostassem, a Aluna 9 respondeu:

É a... os níveis de energia, a troca dos elétrons... a divisão de elétrons nos níveis de energia, que um nível é como se ficasse em cima do outro assim.

Ao ser questionada se os níveis de energia seriam algo material como as engrenagens, a Aluna 9 negou, explicando que se tratava de uma região onde se localizariam os elétrons em movimento e onde ocorreria a "divisão" destes entre os átomos.

Considerando as explicações da aluna sobre suas idéias iniciais e a reformulação de sua comparação explicitada nas duas citações anteriores, é possível afirmar que o foco de suas idéias mudou do encaixe entre os átomos para o que ela chamava de "divisão dos elétrons". A partir desse novo enfoque, ela foi capaz de estabelecer uma comparação relacional (esquema 24) através da qual mapeou a sobreposição dos níveis de energia para o encaixe das engrenagens.



Esquema 24. Mapeamento da Aluna 9 na analogia estabelecida entre engrenagens e níveis de energia.

Ao final, a pesquisadora perguntou à aluna qual era a fonte de suas idéias sobre as engrenagens, ao que ela respondeu:

Eu só lembro de... sabe aquele filme do Charli Charplin – eu não sei falar –que ele está assim em cima de uma engrenagem? (...) Aí as engrenagens vão se juntando assim. É só aquela imagem mesmo que passa na minha cabeça. E aí eu vou imaginando os elétrons. É só isso mesmo. (...) Não no filme não tem nada a ver com a comparação. É como se eu imaginasse os elétrons naqueles encaixezinhos da engrenagem.

A partir da citação acima, podemos supor que a aluna pensou em um mecanismo análogo ao encaixe de engrenagens para explicar a sobreposição dos níveis de energia na união entre os átomos porque ela apresentava uma imagem do análogo que entendia bem como funcionava.

PROFESSORES

Na apresentação dos resultados referentes às entrevistas com os professores, destacaremos trechos destas que possam elucidar:

- os fatores determinantes para o estabelecimento da analogia pelos professores;
- as dificuldades sentidas pelos professores durante o estabelecimento das analogias;
- as opiniões dos professores sobre as utilidades e limitações das analogias;
- o conceito de analogia para os professores.

Acreditamos que o conhecimento e análise desse conjunto de aspectos, aliado à descrição do contexto em que cada entrevista foi conduzida, poderá elucidar nossa questão de pesquisa sobre como os professores de ciências elaboram analogias destinadas a situações de ensino.

Professora 1

A pesquisadora iniciou a entrevista solicitando à professora que tentasse descrever como ela explicaria o significado da representação H_2O para um aluno da oitava série do ensino médio que já havia estudado os modelos atômicos, mas não havia estudado ligações químicas.

A Professora 1 afirmou que, inicialmente, discutiria a questão de a matéria ser constituída por átomos e de substâncias ou materiais diferentes serem constituídos por átomos que se “ligam”, se “juntam” de maneiras diferentes. Disse também que, considerando que eles já tivessem estudado modelos atômicos, explicaria que o átomo não existe sozinho e que, para ele ter estabilidade, teria que se juntar, se ligar, sendo uma das maneiras possíveis, a constituição da água.

Para explicar como eles se unem, a professora afirmou que recorreria ao modelo de Dalton, utilizando bolinhas de isopor conectadas por palitos de dente (que compunham o material disponibilizado pela pesquisadora durante a entrevista) para representar a molécula de água (figura 32).

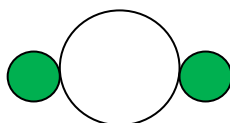


Figura 32. Representação da Professora 1 para as moléculas de água.

Ela explicou:

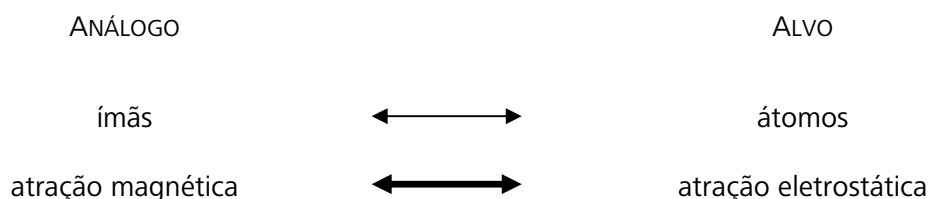
Pensando no átomo como bolinha, o que acontece? Esses átomos, eles se atraem. Ah, por que se atraem? Ah, porque existe uma energia de atração, a gente vai trabalhar isso em ligações químicas. Os átomos, eles não são estáveis quando existem por si só. Por que eles não são estáveis? Eles têm muita energia! Eles não existem sozinhos, então, eles precisam se juntar, se aglomerar para alcançar a estabilidade, para abaixar essa energia. E como que se faz isso? Depende do que você tem no sistema. Por exemplo, se você tiver hidrogênio e oxigênio, eles podem se juntar para formar água. Se a gente fosse mostrar isso no modelo, como que seria? Pensando no átomo como uma bolinha... dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. Ah, mas como que eles estão juntos? Existe uma atração entre eles, existe uma força que mantém esses átomos juntos. No entanto, a gente tem que lembrar que eles não vão se encostar, não vão se chocar. Pensando no que a gente viu no modelo, a eletrosfera do átomo não estão [sic] com elétrons? Então, eles não podem se encostar porque vão repelir. Então, existe uma força de atração, existe uma energia aqui envolvida que mantém esses átomos juntos. Agora como eles estão ligados? Ah... a gente vai ter que ver a ligação química!

Apesar de ressaltar posteriormente sua preocupação com uma possível idéia errônea entre os alunos de “*contato físico direto*” entre os átomos, a professora parecia apresentar a idéia, muito comum entre eles, de que o átomo apresenta uma superfície delimitadora e que estes só não se chocam, ou se encostam, devido à repulsão entre os elétrons presentes na eletrosfera, conforme pode ser constatado em sua explicação anterior. Ali, além de uma possível representação inadequada para o átomo, podemos notar também, certa confusão entre os termos ‘energia’ e ‘força de atração’.

A pesquisadora afirmou que, como a Professora 1 bem sabia, uma situação comum no contexto de ensino é a utilização de comparações quando os alunos não compreendem conteúdos abstratos como os de ligações químicas. Sendo assim, solicitou-lhe que estabelecesse uma comparação que facilitasse a compreensão de um aluno sobre a união que ocorre entre os átomos.

A Professora 1 fez a seguinte comparação:

Ah normalmente eu penso..., quando eu penso em mostrar pra eles que existe uma energia, uma força de atração, algo que mantém esses átomos juntos, eu penso mesmo na analogia do ímã claro que... (a pesquisadora lhe entrega dois pedaços de ímã). (...) Eu tento ressaltar a questão de que essa força, essa ener... essa força de atração que existe entre os átomos, não é a mesma que existe no ímã. No ímã a gente tem atração magnética, enfim..., mas eu falaria com eles: Os ímãs não se atraem? Não existe uma força de atração entre eles? Existe. E se eu tivesse ímã naquele momento eu até colocaria mesmo... (...) Existe esse mesmo tipo de atração, de atração entre os átomos. Essa atração é o que vai manter eles ligados.



Esquema 25. Mapeamento da Professora 1 na analogia estabelecida entre ímãs e átomos.

A professora, ao mapear as forças de atração magnética para as forças de atração eletrostática, preocupou-se em destacar as diferenças entre os domínios alvo e análogo, afirmando que a natureza da atração entre os ímãs é diferente da natureza da atração entre os átomos. Além disso, ela destacou outras limitações de sua analogia, como observado na citação abaixo:

No entanto, é complicado fazer essa analogia porque os átomos, eles não são encostados. (...) Porque quando eu penso em mostrar isso para eles, eu diria:

olha não é esse tipo de... não é assim que a molécula está, não é assim que os átomos estão, porque não existe contato entre eles, existe essa força de atração que vocês estão sentindo aqui. Essa força de atração que não é uma matéria, não é material é o que existe entre esses átomos e que mantém eles a uma distância determinada, que eles nem vão se chocar, não vão colidir, e nem uma vão se afastar e separarem. É essa força de atração.

A professora fundamentou suas idéias sobre as limitações de sua analogia e os demais esclarecimentos que prestou, em seu conhecimento sobre as concepções errôneas que alunos, ao estudarem ligações químicas, geralmente apresentam. Ela ressaltou que:

Eles podem primeiro pensar que essa natureza de atração... que a natureza de atração que existe aqui (aponta para o ímã e o metal) é a mesma que existe no átomo, que é uma preocupação. E o segundo ponto: é que como ele vê o ímã, e vê que ele está..., que eles estão colidindo, que está tendo contato físico direto, ele pode pensar isso para o átomo também. Que os átomos estão encostados um no outro, que não existe uma distância entre eles. E... num primeiro momento eu acho que as idéias que podem gerar... idéias erradas que podem ser geradas, são essas. E pensando em restrição para você explicar depois outros tópicos, isso pode gerar um certo problema, sabe?

Por outro lado, a professora disse acreditar que sua analogia poderia auxiliar o aluno no entendimento do conteúdo porque diminuiria a abstração do conhecimento. Segundo ela, o aluno teria a oportunidade de sentir a atração entre o ímã e o metal, o que tornaria "mais palpável" a noção de atração. Em suas palavras:

Eu acho que isso ajudaria ele a entender porque diminui a abstração desse tipo de conhecimento. Primeiro ele quer saber o que é essa estrutura, o que é isso, primeiro a gente fala que é água, que os átomos estão ligados. Mas como esses átomos estão ligados? É muito difícil para um aluno pensar em uma atração entre esses átomos. E, inicialmente... mesmo depois que a gente vê a ligação química, eles vão estar sempre imaginando mesmo, a atração e os elétrons sendo compartilhados, a atração entre cargas. Mas, de qualquer forma, eu acho que nesse primeiro momento ele precisa sentir, sabe? Sentir sobre o que a gente está falando, precisa ser mais palpável para ele e eu acho que, nesse ponto, isso ajuda. Mostrar essa atração. Então, esses átomos não ficam soltos por aí, ou, não é do nada que eles estão próximos, existe uma força que mantém. E eles sentem isso, porque se você só falar... Se eu só falo, fica muito vago.

Visando facilitar a explicitação das idéias pela professora, a pesquisadora disponibilizou dois ímãs. Neste momento, foi interessante perceber que, apesar de expressar sua comparação utilizando ímãs como domínio análogo, a professora mostrou-se surpresa quando manipulou os ímãs e eles se repeliram. Isto levou a pesquisadora a substituir um deles por esferinhas de ferro. Esse fato não gerou qualquer comentário por parte da professora. Ela somente verificou se no novo sistema havia forças de atração, aproximando

uma esferinha do pedaço de ímã, e prosseguiu com suas explicações. A nosso ver, o aparente desconhecimento pela professora da existência de forças magnéticas de repulsão, bem como de uma representação mais adequada para o átomo, como citado anteriormente, pode ter contribuído para que ela não conseguisse explorar mais amplamente a analogia proposta e/ou não reconhecesse outras limitações da mesma.

Ao ser questionada pela pesquisadora sobre o que seria, sob seu ponto de vista, uma analogia, a Professora 1 afirmou:

Ah, pra mim analogia é, é..., é uma comparação mesmo. Eu vou comparar ele, eu vou comparar, por exemplo: a ligação entre esses átomos, com a atração que existe entre o ímã e o metal, então é uma comparação. Vou utilizar um outro sistema... isso acontece como se acontecesse aqui (aponta para o ímã e o metal). Para facilitar aí o processo.

Através dessa definição, é possível perceber que a professora apresenta a idéia de que, para que uma comparação seja uma analogia, ela, necessariamente, deve ocorrer entre domínios diferentes e que seu objetivo seria o de facilitar o processo de ensino e aprendizagem de um determinado assunto.

Professora 2

A Professora 2, buscado descrever a situação na qual explicaria para alunos de oitava série o significado da representação H_2O , disse que utilizaria do modelo de Dalton para se remeter ao agrupamento dos átomos e à proporção em que eles se encontram nas partículas de água. Justificou também a utilização do termo partícula dizendo que, ao proceder dessa maneira, acreditava evitar confusões por parte dos alunos quando ela se referisse a outras espécies químicas.

Ela afirmou que sempre utilizava desenhos (figura 33) para trabalhar com os alunos, de maneira introdutória e simples, a questão das proporções e as noções de raio atômico.

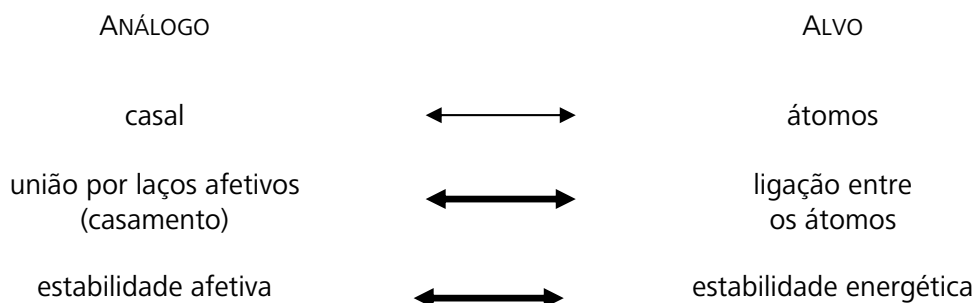


Figura 33. Representação da Professora 2 para as moléculas de água.

Ao ser solicitada pela pesquisadora, a professora utilizou a seguinte comparação com a finalidade de explicar a união entre dois átomos para seus alunos:

Acho que eu nunca parei para pensar (risos)... em comparar. Acho que eu nunca fiz essa comparação. Assim, se eu pensar porque os átomos se ligam, aí eu estou pensando na estabilidade. Para que dois átomos se ligam? Por que eles formariam isso daqui? (mostra a representação de H₂O no desenho do papel). Eu falo de uma maneira bem... Quando eu vou falar dos átomos se ligarem eu dou muito exemplo de casamento (risos). Eu falo o seguinte: É... que um... que um átomo, liga-se ao outro, por algum motivo. Tem um fundo de interesse quando há essa ligação. Então, ainda mais com o hidrogênio e com o oxigênio, né? Eu falo da afinidade entre eles... E eu levaria para esse lado. Pela questão mesmo dessa ligação entre os átomos pra buscar uma estabilidade. (...) quando você faz a opção de um casamento, você, na verdade, está buscando uma união mais estável, não é? Porque, senão... – eu aproveito para falar essas bobearias para eles – mas, quer dizer, a estabilidade é para os dois, né? (...) E aí, para que eles se separem, vai precisar de alguma interferência muito forte para separar, porque essa estabilidade é que é a força que vai manter esse casal unido, né? Então se tiver realmente essa união, aí ele não vai ter tendência a se separar. Falo isso!

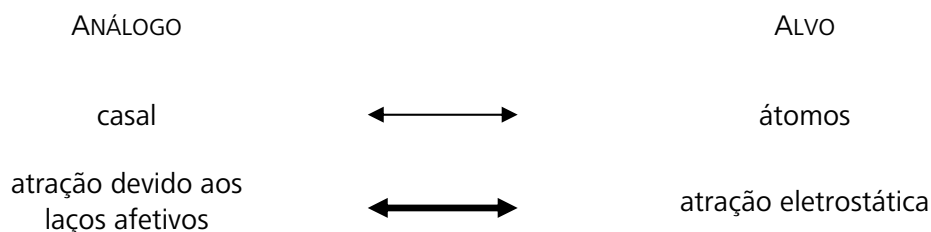
Como evidenciado no esquema 26, a Professora 2 colocou em correspondência o casal e os átomos, relacionando a união de um casal e a ligação entre os átomos e a estabilidade afetiva desse casal que se une através do casamento com a estabilidade energética de átomos unidos. É importante ressaltar que a professora atribuiu a estabilidade energética dos átomos somente à força de atração existente entre eles e não a um equilíbrio entre aquelas e as forças de repulsão. Esse mesmo argumento foi utilizado por outros professores entrevistados nessa pesquisa, como se pode notar, por exemplo, na explicação da Professora 1 para a união entre os átomos. Além disso, pode-se observar através da citação, que ela associou a união dos átomos a uma afinidade natural existente entre alguns deles, como o Professor 6.



Esquema 26. Mapeamento da Professora 2 na primeira analogia estabelecida entre casal e átomos.

A professora disse que apresentaria sua comparação aos alunos verbalmente e demonstrou, ao longo da entrevista, que recursos como bolinhas de isopor, palitinhos e desenhos seriam utilizados por ela para esclarecer a representação da molécula de água (H_2O). Ela aproveitou também para esclarecer que, inicialmente, não apresentaria uma representação com bolinhas de isopor e palitos de dente na qual esses últimos estivessem visíveis. Neste momento, a professora explicou o porquê de sua observação e estabeleceu uma nova comparação:

Porque para eles dá idéia de que ligação é ponte e isso mata a gente (risos). Eles... eles não percebem que isso daqui (aponta para o palito de dente através do qual uniu esferas de isopor para representar a molécula de água de maneira semelhante à figura 33) não existe, né? Se você usa, isso daqui (aponta novamente para o palito) é muito visível para eles. Aí, eles vão ficar sempre com a idéia de que a ligação química é uma ponte, é algo palpável, que ele vê. Então, mesmo ele não enxergando, ele não tendo a noção exata do átomo, mas a partir do momento que você estabelece, faz um desenho, e ainda mostra isso daqui (aponta novamente para o palito), você pode colocar na cabeça deles essa... essa idéia. Eu sempre falo muito isso: olha ligação é atração. Então, você sente amor pelo seu companheiro, você não vê essa atração. Você não... não tem... você não pode pegar, então, ela existe. Essa atração existe, mas ela não é palpável, ela não é material, né? E a idéia disso daqui dá muito... fica muito na cabeça deles a questão do material. Que a ligação é material.



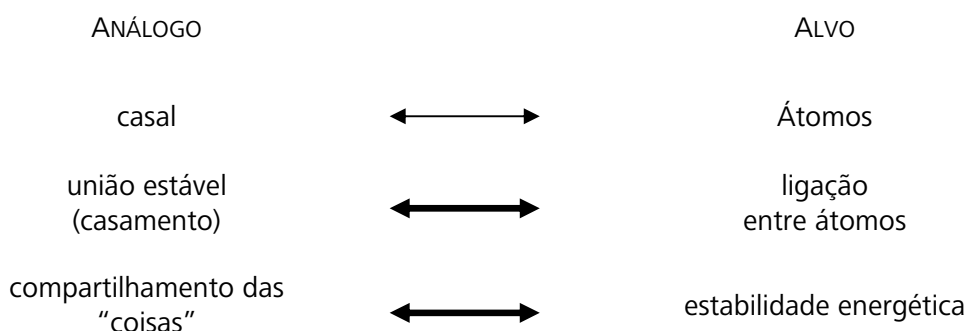
Esquema 27. Mapeamento da Professora 2 na segunda analogia estabelecida entre casal e átomos.

Nessa segunda comparação, a professora colocou em evidência um aspecto diferente da primeira. Ao considerar uma possível dificuldade de seus alunos em compreender o abstrato conceito de atração eletrostática – fato que poderia conduzi-los à concepção errônea de força como algo material –, ela mapeou os laços afetivos estabelecidos entre um casal para a força de atração entre átomos unidos e justificou:

(...) Porque eu percebo isso: há uma dificuldade muito grande para eles perceberem que ligação é atração. Toda vez que você fala porque há a estabilidade... Pra falar de estabilidade, eu falo exatamente nessa atração que é favorável, que é favorecida. Que é favorável para os dois lados.

Para trabalhar especificamente a introdução de ligação covalente com os alunos, a professora disse, ainda considerando o casal como domínio análogo, que poderia estabelecer a seguinte comparação:

Se eu estou falando de ligação, eu aproveito até o modelo lá do casamento pra falar a história da... Aí a idéia do compartilhamento das coisas. Aí eu uso esse recurso do casamento para falar disso. Quer dizer, por que você quer uma união mais estável? Por que você quer compartilhar uma vida em comum? Então aí... quer dizer... esse compartilhamento leva a essa estabilidade. Então eu uso a história do casamento.



Esquema 28. Mapeamento da Professora 2 na terceira analogia estabelecida entre casal e átomos.

O objetivo principal da professora ao expressar essa comparação foi o de associar o compartilhamento de bens materiais ou sentimentos entre as pessoas com a estabilidade dos átomos unidos para que, posteriormente, o compartilhamento de elétrons entre os átomos (discutido no estudo do tema "ligação covalente" nos níveis de ensino fundamental e médio) pudesse ser associado a uma possível "busca" de estabilidade por esses átomos, conforme mencionou no final da citação seguinte.

Em seguida, a professora explicou que acreditava que suas comparações poderiam facilitar o entendimento de seus alunos sobre a união dos átomos porque seria algo familiar a eles. Dando prosseguimento a essa explicação, ela mapeou, ainda mais explicitamente, os predicados de sua primeira comparação.

Eu acho o seguinte que... quer dizer, quando eu dou exemplo da relação entre duas pessoas. É uma coisa mais dentro da vivência. Então, eu costumo falar até de um casal de namorados que ficam tão bem quando eles estão juntos, melhor do que quando estão separados, né? Então, eu falo com eles que com os átomos também acontece isso. É um modo semelhante. Agora, que há um interesse por trás desse estar bem juntos. Então que, para os átomos também há um interesse ao se unirem nessa união estável. Quer dizer, pra buscar essa estabilidade aqui, é que vai ter a união. Eu acho que eles entendem! (Risos) Acredito que sim! Porque é a relação entre dois: homem e mulher e que... buscando alguma coisa. Buscando essa estabilidade, através de um

determinado interesse. Porque depois, aí você vai falando com eles... Para os átomos, qual seria esse interesse? Quer dizer, essa estabilidade vai ser provocada pelo quê? Então, até quando você fala lá do compartilhamento de elétrons, fica mais fácil eles entenderem. Eu acho que sim!

Com relação às limitações de sua analogia, a professora observou que, como estamos vivendo em uma época em que é muito comum os casais não apresentarem uniões duradouras, o termo estabilidade poderia ser obscuro para os alunos. Então, ela ressaltou:

Eu acho que todo exemplo, toda comparação que se faz, você corre um risco, sim. Às vezes você tenta facilitar, mas você não atinge todo mundo, né!

Outro possível problema de se utilizar comparações, identificado por ela, foi o fato de o aluno “*não enxergar*” o que a professora gostaria, devido à possibilidade de extrapolação inerente à utilização de uma comparação e, por isso, ser incapaz de compreender o que se almeja. Em contrapartida, a professora citou o exemplo a seguir, com o intuito de demonstrar que, a partir de comparações (como as que ela propôs nesta entrevista e que também fazem parte de seu repertório em sala de aula), os alunos podem fazer associações corretas.

Mas é interessante assim: tem momentos que às vezes... Aí quando a gente começa a falar da ligação iônica, já tive aluno que virou para mim e falou assim: mas essa... essa união... esse tipo de casamento aí, é muito interessante, né! (...) Um dá e o outro só recebe, né! Quer dizer, esse aluno conseguiu fazer a comparação. É, realmente! Quer dizer... o casamento melhor é o compartilhamento, né! Mas o risco assim específico, não. Não sei... Não saberia te falar.

Nesse momento, a professora pareceu não ter percebido que, apesar de ela ser capaz de distinguir predicados relacionados aos domínios comparados, o mesmo poderia não ser válido no caso do aluno. Ao expressar a idéia da citação anterior de que o casamento por compartilhamento é “*melhor*”, o aluno pode ter assumido predicados relativos ao análogo como iguais àqueles relativos ao alvo, sem perceber os aspectos relacionais relevantes dessa comparação.

Finalmente, ao ser questionada sobre o que ela compreendia por analogia, a Professora 2 afirmou que, no contexto da entrevista, seria uma comparação. Apesar disso, por diversas vezes, mesmo estabelecendo comparações entre domínios, a professora utilizou o termo “*exemplo*” como sinônimo de analogia, como pode ser observado em algumas das citações anteriores.

Professor 3

O Professor 3, em sua descrição sobre a explicação que forneceria aos alunos com relação ao significado da representação H_2O , disse que, num primeiro momento, solicitaria aos seus alunos que localizassem na tabela periódica os elementos que compunham a representação. Em seguida, explicaria o significado dos índices 2 e 1 que acompanham os símbolos dos elementos, destacando que o número 1 é omitido na representação. Afirmaria também que os “*elementos*” se encontram combinados para evitar que os alunos pensassem em átomos isolados. Neste momento, ele afirmou que solicitaria que os alunos expressassem, através de um desenho, a combinação entre os átomos e representou as possibilidades que eles poderiam fornecer em resposta à sua solicitação (figura 34).



Figura 34. Representação do Professor 3 para possíveis combinações entre os átomos na molécula de água, imaginadas por seus alunos.

O professor disse que, como essa seria uma explicação introdutória, ele se preocuparia somente em destacar a proporção entre os átomos e não a representação mais adequada.

Solicitado pela pesquisadora, o Professor 3 estabeleceu a seguinte comparação para explicar a união entre os átomos:

Primeiro ele deve pensar que para alguém ter união com alguém, é porque há necessidade, senão, teria hidrogênio e teria oxigênio separados como átomo. Então, se existe essa necessidade, é como se fosse complementação, um complementa o outro. Então, a grosso modo, num primeiro momento, eu poderia pensar olha, um aluno... vamos pegar dois alunos cada um representando um hidrogênio, o outro hidrogênio; e o outro, representando o oxigênio. Como que eles podem se unir pra um completar o outro? Ah! Eles podem dar as mãos. A grosso modo eu poderia mostrar essa maneira.

Apesar de o professor ter colocado em correspondência os alunos e os átomos, ele só foi capaz de combinar predicados de objeto ao tentar relacionar o fato de os alunos se darem as mãos com o estabelecimento da ligação entre os átomos. Ele chegou a mencionar a “*necessidade*” de pessoas e átomos se unirem para uma “*complementaridade*”, porém não esclareceu o seu significado nos dois domínios, impedindo o mapeamento de relações e fazendo com que sua comparação, a nosso ver, seja classificada como *mera aparência*.

Após estabelecer a comparação, o professor 3 representou a molécula de água utilizando bolinhas de isopor laranja para representar os átomos de hidrogênio e bolinha de isopor verde para representar o átomo de oxigênio (figura 35). Em seguida, ele usou uma caneta esferográfica, identificando o corpo da mesma como sendo a representação da ligação entre os átomos, as tampas vermelhas das extremidades como sendo os átomos de hidrogênio, e a tampa preta central como sendo o átomo de oxigênio (figura 36) e comparou:

(...) vamos pensar: hidrogênio, hidrogênio e oxigênio (aponta para as tampinhas vermelhas e preta) e aqui as ligações (aponta para o corpo da caneta) que, quando vocês deram as mãos, vocês formaram uma ligação, que antes não existia. Você estava lá, um átomo. Ai, de repente, quando você dá a mão para alguém, você está se ligando a alguém. Isso é uma ligação porque você precisa disso!

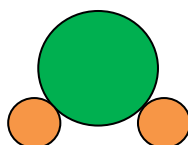


Figura 35. Primeira representação do Professor 3 para água.

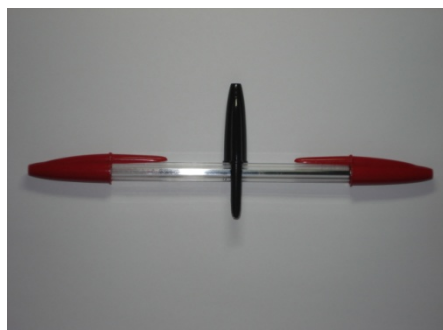


Figura 36. Segunda representação do Professor 3 para água.

De maneira semelhante à primeira comparação estabelecida, o professor novamente combinou somente propriedades descritivas, o que faz dessa, uma comparação de *mera aparência* (como a primeira), através da qual pareceu manifestar a concepção inadequada de que os átomos se ligam através de um contato físico entre eles. Outro aspecto importante a ser notado na citação anterior é que o professor pareceu reconhecer a natureza comparativa dos modelos, pois associou sua representação (figura 36) com a primeira comparação estabelecida entre os alunos e os átomos, colocando em correspondência as tampinhas de sua representação e os alunos, e o corpo da caneta e o

fato de os alunos se darem as mãos. Conseqüentemente, ele associou a ligação representada no seu modelo com a ligação descrita através de sua comparação.

A seguir, a pesquisadora solicitou que o professor descrevesse como ele explicaria para seus alunos que os átomos, após se ligarem, permaneceriam unidos. Ele explicou e estabeleceu novas comparações, como citado a seguir:

A gente pode pensar no seguinte, se eu pego um papel e coloco o papel para queimar, ele queima espontaneamente. Se eu pego, naquela temperatura daquela chama, se eu pego um pedaço de ferro e coloco naquela mesma temperatura, eu não estou modificando as características daquele pedaço de ferro. Se eu estou modificando as características do papel, significa que é mais favorável estar naquela segunda forma de obtenção do que na anterior, então existe uma... algo favorável para que as moléculas, elas tenham a união que favoreçam esta estabilidade. Então eu já entro no termo de estabilidade. Alguém existe combinando com alguém, porque é melhor para ele é mais estável para ele, ou seja, eu preciso de uma energia para existir. Quanto menor esta minha energia, melhor para mim, menos gasto para mim. Então eu acho que se eu tenho aqui hidrogênio separado, oxigênio separado, hidrogênio separado, eles existem numa energia, a partir do momento que eu faço essa combinação... ah, o meu sistema, eu vejo que ele está com uma energia menor. Ele é mais favorável para uma existência, então, isto justifica uma ligação entre esses átomos.

ANÁLOGO		ALVO
pessoas	↔	átomos
combinação entre pessoas	↔	ligação entre átomos
estabilidade afetiva	↔	estabilidade energética

Esquema 29. Mapeamento do Professor 3 na analogia estabelecida entre pessoas e átomos.

O professor, inicialmente, forneceu dois exemplos (o da queima do papel e o do aquecimento do ferro) a partir dos quais discutiria estabilidade. Seu objetivo com esses exemplos parecia ser o de ajudar os alunos a compreender melhor a relação da estabilidade com a ligação entre os átomos que ele almejava esclarecer a partir da analogia. Apesar disso, levando-se em consideração que os alunos para os quais a explicação se destinava não possuíam conhecimento em nível sub-microscópico sobre as transformações químicas, nem sobre os aspectos energéticos nelas envolvidos, uma maior atenção no sentido de esclarecer essas noções, poderia ser dada pelo professor no momento em que propusesse

os exemplos. Caso contrário, podemos supor que o objetivo por ele almejado dificilmente seria atingido pela falta de compreensão dos exemplos, por parte dos alunos.

A pesquisadora solicitou ao professor que citasse os aspectos de suas comparações que ele considerava que poderiam facilitar a compreensão de seus alunos sobre a ligação entre os átomos. O professor, então, explicou:

Toda vez que eu vou ensinar alguma coisa eu tenho que fazer uma comparação. Então, é como se tornasse mais visível para o aluno, mais palpável para o aluno, aquilo que está tão distante dele. Então, você está usando H₂O, você escreve no quadro, aí, de repente, você não sabe o que ele está pensando. Aí quando você traz isto para uma forma visível, macroscópica, palpável para ele, eu acho que ele consegue começar a fazer ligações do pensamento e melhorar esse pensamento dele. Sempre, qualquer coisa que vou ensinar, eu tento fazer analogia com alguma outra coisa e eu sempre falo o seguinte: gente, oh, vamos pensar de maneira drástica, de maneira grosseira! Isto para você entender o que eu estou tentando falar.

É possível perceber que, ao destacar que os aspectos visuais de suas comparações tornam o conteúdo abstrato mais “palpável para o aluno”, o Professor 3 se referiu às diversas representações que utiliza durante suas explicações e, novamente, demonstrou reconhecer a natureza comparativa dos modelos.

A pesquisadora também perguntou ao professor se ele achava que os alunos poderiam compreender, através de suas analogias, algo diferente daquilo que ele esperava, ao que ele respondeu:

Sempre entende, sempre entende! (...) Ele vai, por exemplo, pensar que o oxigênio é isso realmente, que o hidrogênio é isso realmente. Ele vai levar isso por muito tempo, então, ele pode pensar: o hidrogênio é isso (mostra a tampinha vermelha da caneta) e oxigênio é isso aqui (mostra a tampinha preta da caneta). Então, eu acho legal você sempre usar fórmulas diferentes, não se deter numa única coisa, porque aí não fixa aquilo, então, se eu usei pessoas, eu estou falando que eu posso mostrar uma mesma linha de raciocínio de maneira diferente, né? Agora, que vai ter sempre aquele mais desatento que vai pensar: Ah! O hidrogênio é isso (mostra a bola laranja)? É. Então, eu acho que esta é a maior, é a pior das confusões. (...) Que eu acho que é o que a gente tem que tomar cuidado quando a gente faz uma analogia mostrando alguma coisa assim, papável.

Neste caso, o professor ressaltou como limitação das comparações por ele estabelecidas, o risco de que o aluno assuma o domínio análogo como se fosse o alvo e citou um exemplo daquilo que ele faz para evitar que esse problema ocorra:

Igual, hoje eu estava falando de vaporização, aí apresentei ebulição e evaporação. Aí eu falei, gente vamos usar um termo só para gente entender, mas a gente não vai escrever isso nunca. A evaporação eu vou fazer uma

analogia com o termo espontâneo. Mas o que eu estou querendo dizer com isso? Aí a gente parte para a explicação. Então eu estou só tentando mostrar para ele uma maneira fácil de pensar, e deixando bem claro que não é isso! É só para ele entender melhor e sair apenas da fórmula, uma maneira de mostrar uma coisa melhor para ele.

A concepção do professor sobre analogia e o seu papel no ensino de ciências expressa nesta última citação permeou toda a entrevista. Para ele, usar analogias é uma maneira errada e grosseira de se ensinar através de comparações que, apesar disso, facilitam a compreensão dos alunos. Elas se destinam a introduzir um assunto, mas, em seguida, devem ser corrigidas pelo professor para que o aluno não apresente idéias errôneas provenientes de suas utilizações.

Professor 4

O Professor 4, à medida em que descreveu como explicaria para um aluno de oitava série o significado da representação H_2O , elaborou o esquema mostrado na figura 37. Ele disse que introduziria o assunto discutindo sobre as substâncias e os diferentes materiais que nos cercam. A partir daí, discutiria, especificamente, a água, enfocando a sua constituição e representando-a através do modelo de Dalton com o auxílio de esferinhas de isopor conectadas por pedaços de palito de dente (figura 38). Nesta mesma ocasião, disse que discutiria as fórmulas utilizadas para representar as diversas substâncias e os símbolos e códigos (como os índices) que fazem parte dessas fórmulas.

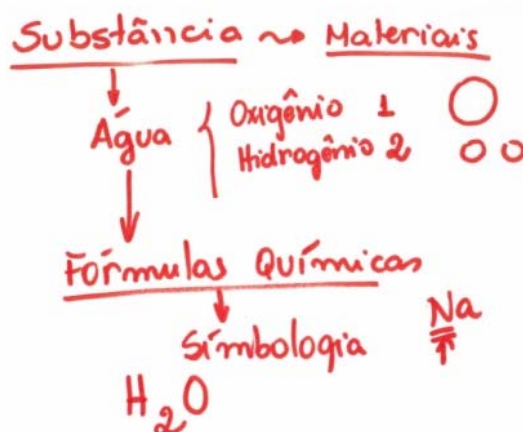


Figura 37. Esquema elaborado pelo Professor 4 para explicar o significado da representação H_2O .

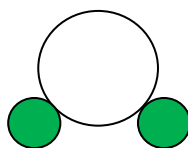


Figura 38. Representação do Professor 4 para água.

Ao ser solicitado a explicar, dentro do contexto descrito, a ligação entre os átomos, o professor disse que introduziria sua explicação da seguinte maneira:

(...) Que a questão que as substâncias se formam para adquirir um... um conteúdo energético mais baixo. Mostro a questão da física, do objeto cair, né? A tendência de todos os objetos do Universo em si é ter uma energia mais baixa, né? Então, eu vou distinguir os dois pontos, porque para mim fica mais fácil. Porque na oitava série eu não falo de ligações químicas no sentido dela. Falo que as substâncias são formadas em termos de... para ter um conteúdo energético mais baixo.

E prosseguiu:

Aí eu vou falar que eles têm um tipo de interação que favorece a união desses átomos. Essa interação. Que a gente pode estar falando que é uma interação... que, de repente, fala do estado sólido, líquido que é diferente... que é diferente assim (faz sinal entre aspas com as mãos). Porque, por exemplo, para falar do sólido, eu falo de coesão, né? Que é uma interação, mas é só para diferenciar aqui (aponta para o modelo das bolinhas de isopor – figura 38) desse sentido, tá? Porque aqui (aponta novamente para o modelo) tem uma natureza eletrostática! Então, lá no sólido, dependendo do sólido, eu falo de coesão, para ele conseguir diferenciar que a coisa não é a mesma. Então, isso depende muito do contexto também, né?

O Professor 4, embora na descrição de sua introdução ao tema tenha mencionado a idéia de estabilidade associada à baixa energia potencial de objetos, não a comparou diretamente à situação dos átomos unidos. Afirmou apenas que diferenciaria ambas as situações nessa introdução, sem explicitar qualquer mapeamento entre predicados. Para exemplificar as interações, por sua vez, ele mencionou a possibilidade de trabalhar o modelo cinético-molecular, através do qual descreveria o estado sólido da matéria para que pudesse associar um tipo de interação ali presente à interação existente entre os átomos. É importante notar que o professor diferenciou a natureza desses dois tipos de interação, pois parecia desconhecer o fato de se tratar, em ambos os casos, de forças eletrostáticas.

A pesquisadora solicitou que, imaginando que os alunos não tivessem compreendido sua explicação, o professor propusesse uma comparação para a união entre os átomos. Ele afirmou que não usaria comparações e que, para ele, seria mais interessante aprofundar as noções de seus alunos sobre modelos atômicos (como o de Bohr) e sobre

interações eletrostáticas, do que estabelecer uma comparação. Ele justificou sua posição, afirmando que os alunos, ao expressarem uma dúvida, buscaram um aprimoramento de seu conhecimento; objetivo que ele não poderia alcançar via analogia¹⁵.

Complementando suas idéias, o professor afirmou que poderia esclarecer a ligação da seguinte maneira:

Aí eu acho que eu explicaria da seguinte forma: eu mostraria... Ainda pelo modelo de Dalton eu já falaria: olha, então vamos pegar um átomo... não especificamente a água, porque aí vai entrar na questão de tipos de ligações. Eu pegaria um átomo e falaria: olha, então aqui nós temos elétrons que estão girando (mostra a representação da figura 39). Se esse daqui está deficiente de elétrons (aponta para o átomo representado à direita) e esse daqui pode ter um elétron a mais (aponta para o átomo representado à esquerda) ou estar com elétron... não vou falar excesso, mas tem um elétron que pode girar em torno desse (volta a apontar o átomo da esquerda na representação), aí ele já não estaria em termos assim... Porque os elétrons podem girar em torno desses dois átomos (mostra na sua representação os dois átomos e sinaliza com o auxílio de uma caneta o movimento dos elétrons neles que se assemelha ao símbolo ∞), ou seja, criando uma... Como é que eu falaria para um aluno?... Os elétrons estariam girando em torno dos dois átomos de modo que os dois estariam fazendo uso de elétrons comuns. Agora, se eu tivesse que explicar de novo, aí eu iria para o lado avançado. Aí eu falaria, então agora... e começaria... eu já amadureceria a menina.



Figura 39. Representação do Professor 4 para a união entre átomos.

A pesquisadora solicitou-lhe, indiretamente, que estabelecesse uma comparação, indagando-lhe a que aquela situação por ele descrita seria semelhante. O professor respondeu que descreveria para o aluno o modelo de Bohr, explicitando as interações núcleo-elétron existentes em um átomo e entre átomos unidos para que ele pudesse compreender melhor e, em seguida, comparou:

É... cargas contrárias. Alguma coisa com cargas contrárias, certo? Então, vamos pensar... vamos falar assim... vamos pegar um ímã. Você tem lá... Talvez eles já tenham até estudado o ímã. (A pesquisadora lhe entregou ímãs e esferinhas de ferro). Ah tá, você tem um ímã! Então seria o quê? Eu colocaria

¹⁵ O Professor 4 utilizou os termos comparação e analogia indistintamente. Ele esclareceu que, em princípio, imaginava que eles fossem a mesma coisa e, somente ao final da entrevista, após as perguntas da pesquisadora e suas reflexões, mudou de idéia.

assim a questão da atração. Então, ela sentiria: vai ter a repulsão. Então, por que isso está acontecendo? Porque nós temos aqui força no mesmo sentido, tá? Se eu virar... ele vai estar atraindo, então nós temos aqui forças contrárias. Aí eu já poderia estar até usando o professor de física, ou trabalhando com ela, falando que o ímã tem lá (desenha – figura 40) o que é estipulado o pólo norte e o pólo sul. Então, o pólo sul, ele vai provocar uma repulsão (se refere à aproximação dos ímãs através dos pólos convencionados como sul) e o pólo norte, se eu colocar um ímã com o pólo norte próximo do pólo sul, atrai. Então, a natureza é mais ou menos parecida, porque a questão de atração de forças contrárias, então se o elétron, ele é positivo, o elétron é negativo (corrigiu) e o núcleo é positivo, então nós temos aí forças contrárias. O que eu... aí já falaria, que é de natureza elétrica, de natureza eletrostática, por isso chama de eletricidade. Até a questão de história aí que já daria para falar. A questão de por que da palavra elétron e talvez já trabalhar um pouco a parte histórica.



Figura 40. Representação do Professor 4 para a atração e repulsão entre pedaços de ímãs.

ANÁLOGO		ALVO
ímãs	↔	átomos
pólo norte/pólo sul	↔	prótons/elétrons
forças magnéticas	↔	forças eletrostáticas

Esquema 30. Mapeamento do Professor 4 na analogia estabelecida entre ímãs e átomos.

O professor estabeleceu uma analogia entre os ímãs e átomos, colocando em correspondência também os pólos de um ímã e as partículas atômicas (prótons e elétrons). Nessa analogia, ele relacionou as forças magnéticas atrativas e repulsivas com as forças elétricas atrativas e repulsivas. Apesar disso, o reconhecimento de que havia estabelecido uma comparação só foi declarado ao final da entrevista, após suas discussões com a pesquisadora sobre o significado que atribuía a elas.

Outro aspecto que podemos notar através da citação da comparação estabelecida pelo professor é que ele utilizou o termo “forças contrárias” para designar a força de atração e o termo “forças no mesmo sentido” para designar a força de repulsão. Ele demonstrou, através dessas expressões, confundir o sentido das forças - utilizado quando se

descreve uma grandeza vetorial - com sua natureza, ou seja, chamou de “forças contrárias” as forças de atração provenientes de cargas de sinais opostos e de “forças no mesmo sentido” as forças de repulsão provenientes de cargas de mesmos sinais. Essa confusão na terminologia, porém, não parece ter gerado qualquer comprometimento quando o professor relacionou os domínios comparados, o que pode indicar que ele não estava atento à sua descrição.

O Professor 4 ressaltou que uma das limitações de sua “*explicação*” (termo por ele usado para se referir à analogia entre os ímãs e as partículas atômicas) seria a de que os alunos pensassem que a atração entre os átomos somente ocorreria quando um deles fosse positivo e o outro negativo, ou seja, que os alunos pudessem tirar conclusões incorretas a respeito do domínio alvo. Na tentativa de minimizar essas limitações, o professor afirmou:

Então, sempre tem que estar falando: Olha! Isso daqui é um átomo (aponta para um dos ímãs)! Então o átomo tem lá, tem o positivo e o negativo, certo? Por quê? Porque se ele pensar isso aqui, toda vez que ele ver, ele vai carac... e, principalmente, ele vai querer que um seja positivo e outro negativo que vai começar a acentuar lá na hora que você for trabalhar ligação covalente nas polaridade. Ele vai falar assim: Ah, esse é positivo! Ah, aquele é negativo! Né? Então, eu acho que as coisas têm que ser muito... acho que têm que ser bem determinadas, buscando os pré-requisitos, trabalhando bem os pré-requisitos pra poder não cair nesses obstáculos.

Outro problema destacado pelo professor seria o de que os alunos imaginassem que em um dos ímãs existiria um próton e no outro, um elétron e que, por isso, eles se atrairiam, ou seja, que os alunos assumissem predicados relativos ao domínio alvo como se fossem válidos para o domínio análogo.

(...) Então, senão, ela vai achar que aqui tem um... que é próton e o outro que é o elétron (mostra as duas partes do ímã), então, eu solucionei para repulsão e atração. Então, não entraria também em detalhes do ímã, porque aí a gente teria que trabalhar o quê? Aí ficaria... aí já complicaria, né? Porque aí já trabalharia a questão dos spins... Então, não.

O Professor 4 foi solicitado pela pesquisadora a especificar em quais aspectos ele considerava que sua “*explicação*” facilitaria a compreensão dos alunos. Ele afirmou que em nenhum, pois, em princípio, eles só aceitariam aquelas idéias. Por outro lado, ressaltou que, à medida que fossem surgindo novas dúvidas, a partir do fornecimento gradual de informações, os alunos poderiam estruturar melhor aquele conhecimento.

Ao final da entrevista, por meio de uma prolongada discussão com a pesquisadora, o Professor 4 expressou melhor suas idéias e opiniões com relação às analogias, como pode ser observado a seguir, através de alguns trechos de sua fala:

Eu não faria, sabe por quê? Porque senão eu teria que pegar termos tipo mãozinha com mãozinha e, isso, eu já tirei há muito tempo. Não, acho que eu nunca usei, para falar a verdade. Porque eu lembro, foi até com a Rosária¹⁶ mesmo, a gente fez análise de alguns livros e, inclusive, não sei se era o Feltre, bem antigão, que tinha lá as bolinhas que eu achava fantástico aquilo dali. Achava aqueles desenhos lindos! Átomos com chapeuzinho de lado, a menininha com... Então, eu achava bonitinho, porque não tinha nada para fazer naquela época. Então, assim... eu abdicó disso. Não faço!

(...) É porque, para mim, é eu pegar uma comparação bem... eu vou falar de uma maneira bem animista, né? Porque você tem aquelas questões animistas, tipo: desenha uma boquinha e uma bolinha, uns olhinhos. Então, fazer analogia mesmo com coisas, tipo ligação: então vamos ligar aqui com o braço para ver (gesticula como se demonstrasse a força dos braços). Forte! Oh! Essa é um pouco mais forte! Então tem várias maneiras de você fazer isso.

O professor demonstrou associar as analogias às representações animistas presentes em livros didáticos ou apresentadas por professores em sala de aula. Analogias deste tipo são conhecidas da área de educação em ciências pelas inúmeras concepções errôneas que os alunos podem apresentar a partir de sua utilização.

(...) Então, eu tenho aversão, aversão mesmo a essas analogias. Porque eu sei que, dependendo do instante que você falar, aquilo vai ser a verdade e depois, para você tirar, não adianta. Ele vai falar assim: – um aluno, né? – Ah não, tudo bem! Quando você precisar de aprofundar em uma linguagem científica... é lógico que a gente trabalha a linguagem científica durante o tempo todo, mas se você precisar de aprofundar, ele vai horrorizar mais ainda, como se ele tivesse vendo aquilo pela primeira vez. Então, por exemplo, desde a oitava série, eu sempre conversei... a minha linguagem é a mesma. Eu não fico falando da bolinha... Quando o menino fala “essa bolinha aí”, eu falo assim: bolinha? Eu não estou vendo bolinha! (...) Mas sempre eu falo: gente isso daqui é modelo! Por quê? Porque na hora que eu fosse dar uma prova escrita, esse menino não ia saber escrever o que eu estou querendo. Ele estava tendo várias maneiras de expressar uma mesma coisa. A começar comigo, se eu tivesse usando analogias, eu estaria falando de átomos, eu estaria falando de bolinhas e estaria falando de um... uma porção de coisas que tem ali para estar explicando.

Outra concepção demonstrada pelo professor é a de que, para o estabelecimento de analogias, professores e alunos fazem uso de uma linguagem não científica e, portanto, não aceita no meio acadêmico. Conseqüentemente, elas não poderiam ser utilizadas em atividades avaliativas.

Ao ser questionado pela pesquisadora se ele fazia alguma diferenciação entre analogias e comparações, o professor disse que estava confuso e depois afirmou:

¹⁶ A orientadora desse trabalho, professora Rosária Justi, foi a professora da disciplina Instrumentação para o Ensino de Química (IEQ) cursada pelo Professor 4 no curso de Licenciatura em Química na UFMG.

É porque também agora eu estou tentando alinhar... Isso que eu falo da questão das palavras, certo? Porque eu vi que eu estava usando comparação, analogias... mas para mim isso da boquinha, do bracinho é uma analogia. Eu estou fazendo... estou levando o menino a perceber, dentro lá do micro, alguma coisa que ele usa lá no macro, né? Utilizar para falar assim oh: é força! Agora comparar, eu tenho que comparar no tamanho (pega duas canetas do mesmo tipo e coloca uma próxima da outra), compara duas coisas. Não sei se eu poderia usar (se refere à comparação).

Apesar de afirmar que, durante toda a entrevista, utilizou o termo analogia como sinônimo de comparação, após a pergunta da pesquisadora e uma posterior reflexão, o professor distinguiu os termos, associando as analogias às representações animistas e em nível macroscópico e as comparações às correspondências entre predicados de objetos.

Ao ser novamente questionado se, de acordo com essa distinção que estava fazendo entre analogias e comparações, ele poderia considerar a atração entre os ímãs (citada anteriormente por ele) comparável à atração entre os átomos, o Professor 4 afirmou:

Poderia ser. Aí sim! Aí talvez seria uma comparação, tá? (...) Aí é lógico que essa comparação, ela seria eficiente dependendo do grau de maturidade – eu falo maturidade, mas até de conhecimento da pessoa, tá? Porque eu só queria que ela sentisse o que é uma atração (encosta e afasta a esferinha de ferro do ímã), o que é uma repulsão. Ela sentiria. Porque é uma menina de oitava série.

Assim, ao reconhecer que esta seria uma comparação, o professor pareceu estender sua definição para as correspondências entre os predicados relacionais, o que caracterizaria, a nosso ver, uma analogia.

Professora 5

Com a finalidade de explicar para um aluno que ainda não estudou ligações químicas, o significado da representação H_2O , a Professora 5 disse que utilizaria o modelo de Dalton para recordá-lo de que a matéria é constituída de átomos que se combinam. Esse modelo, segundo ela, auxiliaria sua representação (figura 41) e explicação de que, no caso da substância água, se tratava de uma combinação ou arranjo de átomos de hidrogênio e oxigênio na proporção de 2:1. Posteriormente, a professora foi informada de que poderia utilizar outros materiais em suas explicações, como os disponibilizados pela pesquisadora (bolinhas de isopor, palitos de dente, massinha) e, a partir deles, elaborou uma segunda representação (figura 42).



Figura 41. Primeira representação da Professora 5 para a água.

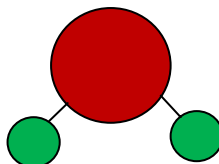


Figura 42. Segunda representação da Professora 5 para a água.

Quando a pesquisadora começou a contextualizar a situação que desejava que fosse explicada pela professora, afirmando que é comum o professor fazer uso de comparações para auxiliá-lo a explicar conteúdos abstratos, a Professora 5 perguntou se ela se referia a uma analogia. Aproveitando a oportunidade, a pesquisadora solicitou-lhe que explicasse o quê compreendia por analogia. Ela respondeu:

(...) Bom. Não vou te responder que nem está no Aurélio, porque eu não sei que palavras eu usaria, mas analogia, que eu entendo, é quando você quer explicar uma coisa para a pessoa, esta coisa para ela é desconhecida, aí você fala de algo que ela conhece e que têm alguma característica talvez semelhante àquela que ela você quer que ela conheça. (...) Eu não sei se analogias são comparações, mas, na prática, me parece. (...) Porque a gente pode usar, comparando duas coisas totalmente diferentes justamente com o intuito de mostrar as diferenças. Aí já não é analogia, né?

A professora demonstrou compreender que através de uma analogia é possível relacionar algo que é familiar a uma pessoa com algo que lhe é desconhecido. Apesar disso, ela destacou que esse processo ocorreria por meio das características semelhantes aos domínios comparados – o que, a nosso ver, caracteriza uma comparação de mera aparência – e não foi capaz de perceber que se tratava de um processo comparativo, aspecto presente em sua própria definição para o termo.

Outro ponto destacado pela professora foi o de que seu repertório de boas analogias era deficiente e que tinha “medo” de utilizá-las por apresentarem o risco, muitas vezes destacado por pesquisadores da área de ensino em ciências, de conduzir o aluno a concepções errôneas.

(...) Por exemplo... um exemplo de analogia que a gente usa muito... Quase todas são... muitas são perigosas de se usar, né? Eu não consigo lembrar um exemplo de analogia. Comparações! (...) Uma analogia. A gente vê tantas em

livros didáticos e todas são tão condenadas que às vezes eu fico até com medo de usar... uma analogia....

Como a professora, num primeiro momento, não estabeleceu nenhuma analogia com o objetivo de explicar a união entre os átomos, a pesquisadora solicitou-lhe que prosseguisse sua explicação, mesmo sem utilizar esse recurso. A professora, então, explicou:

Pois é, um aluno de oitava série... Eu não consigo imaginar uma analogia. Eu falaria exatamente isso. Eu falaria para ele assim: essa... esse arranjo, essa ligação que acontece entre os átomos, acontece em função de dar mais estabilidade para eles. Estabilidade em termos de energia... potencial.

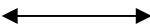



(...) Eu acho que nesse momento eu falaria para ele assim... com franqueza, eu falaria assim, olha: existe uma atração entre eles por causa desta estabilidade que esta ligação faz com que estes átomos atinjam. Agora como essa ligação vai acontecer, você ainda vai estudar. Eu ia falar isso para ele! Eu não ia usar analogia! Eu não sei que analogia usar para ligações, não. A não ser atração, mas não atração no sentido físico. Atração... (...) Então tem a atração entre o núcleo dele e os seus próprios elétrons e os elétrons do outro e tem as repulsões entre os núcleos... e que esta ligação que vai acontecer, independente de como seja esta ligação, é um balanço destas forças em que estes átomos vão se estabilizar neste sentido de ficar em uma situação energeticamente favorável.

Após completar sua explicação, a professora foi capaz de estabelecer uma analogia, a partir da qual procurou comparar as forças atrativas existentes nos ímãs com aquelas existentes nos átomos, como podemos notar através das citações a seguir:

Pensei em ímã, sei lá! Mas eu ia falar para ele que tem um jogo de forças (mencionado na citação anterior como 'balanço' de forças), tem atração e tem repulsão.

(...) A gente falou de... como que fala?... de um jogo de forças, né? E essas forças têm a ver com a tendência... com essa necessidade que o átomo tem de se estabilizar de alguma maneira. Aí eu tenho um ímã lá, né? Aí eu ia falar que, inclusive, essa força ela varia muito em função da distância entre os átomos. Aí eu mostraria para ele, deixaria ele pegar. Você está vendo? O ímã, um não atrai o outro nesta distância (coloca um pedaço de ímã afastado do outro, encenando a situação com o aluno), mas à medida que eu vou aproximando um do outro, você sente que essa força vai aumentando. Então, essa atração tem a ver com vários fatores, inclusive a distância entre... No fim das contas a distância entre os núcleos – que ele já sabe – desse e desse (mostra uma das bolinhas verdes e a bolinha vermelha de sua representação – figura 42) é uma... é um balanço dessas forças, de repulsão que tem entre seus núcleos e de atração que tem... (...) Que no fim das contas, a distância que um núcleo fica do outro, esta distância que um átomo fica do outro ou que um núcleo fica do outro, entre os núcleos da ligação, essa distância é resultado desse jogo de forças. Tipo... a mesma coisa, se eu quisesse aproximar mais ainda esse ímã desse (mostra os dois pedaços unidos), não

tem como! É como eu querer aproximar mais ainda determinado núcleo de outro. Não tem como. Energicamente é desfavorável.

ANÁLOGO		ALVO
ímãs		átomos
atração magnética		atração eletrostática
variação da atração com a distância		variação da atração com a distância
distância mínima entre os ímãs		distância mínima entre os núcleos

Esquema 31. Mapeamento da Professora 5 na analogia estabelecida entre ímãs e átomos.

Parece que o fato de detalhar a explicação que forneceria para os alunos, destacando os aspectos do domínio alvo que objetivava esclarecer, foi fundamental para que a professora fosse capaz de estabelecer uma analogia em que diversas relações entre os domínios puderam ser percebidas e mapeadas. Isso nos leva a supor que o domínio do conteúdo por parte do professor seja um fator essencial para o estabelecimento de analogias.

Ao ser solicitada pela pesquisadora, a Professora 5 destacou que uma das limitações de sua analogia seria o fato de ela explicar as forças de atração, mas não as de repulsão. Para ela, o fato de a analogia explicar parcialmente aqueles aspectos era um motivo para que não fosse considerada uma boa analogia. A professora pareceu ignorar o fato de que, como os modelos, as analogias são representações parciais de determinados aspectos do conhecimento científico e que, por isso, também como os primeiros, possuem limitações.

A Professora 5 explicou também em que ela considerava que sua analogia facilitaria a compreensão dos alunos, afirmando que:

Por causa do fator atração! Ficou concreto... A atração ficou concreto [sic], imagino.

(...) Com o ímã você deixa claro duas coisas, na minha opinião: que existe uma atração e que esta atração, ela é dependente da distância entre os dois objetos: no caso do ímã, no caso dos dois átomos (aponta para o desenho). Um átomo de hidrogênio isolado totalmente um do outro, não existe atração nenhuma. Teoricamente, né?

Ela continuou, destacando aquilo que considerava que o aluno pudesse compreender erroneamente a partir de sua comparação:

Eu acho que ele pensaria na ligação como uma coisa física, né? Assim... física, material, substancial. (...) Eu acho que qualquer comparação que a gente fizer concreta, vai levá-lo a pensar no concreto. Essa (se refere à comparação com os ímãs) é uma comparação concreta, não é? Eu acho que ele vai pensar concretamente, do mesmo jeito que se eu usasse só essa (mostra a representação com as bolinhas de isopor verdes e vermelhas – figura 42), mesmo eu falando para ele que a ligação não é esse pauzinho – Olha eu pus esse pauzinho aqui, está representando a ligação, não é a ligação! Ninguém me garante que ele não saiu pensando que é, porque eu usei uma coisa física, usei um objeto.

A Professora 5 afirmou que uma maneira através da qual poderia contornar esse problema seria ressaltar para o aluno que, através de uma comparação, são destacados aspectos similares – e não idênticos – entre os domínios comparados; assim como ao se utilizar modelos deve-se ressaltar que eles não são a realidade, mas “*frutos de um trabalho mental*” destinados a explicar aspectos da realidade. A compreensão que a professora demonstrou possuir com relação aos modelos e sua utilização no ensino parece ter influenciado sua percepção a respeito dos aspectos positivos e das possíveis falhas de sua analogia, como podemos observar a partir dessa comparação estabelecida entre ambos (modelos e analogias).

Professor 6

O Professor 6, buscado descrever a situação na qual explicaria para alunos de oitava série o significado da representação H_2O , disse que faria uso do modelo de Dalton para que pudesse mencionar a combinação entre os átomos, originando os chamados “*átomos compostos*” pelo mesmo cientista e, atualmente, denominadas moléculas. A partir daí, mencionaria a molécula de água e explicaria sua constituição a partir dos átomos de hidrogênio e oxigênio e a proporção de 2:1 existente entre esses átomos. Disse também que faria uso de modelos em sua explicação e, a partir dos materiais fornecidos pela pesquisadora, fez a representação da figura 43, utilizando bolinhas de isopor (a vermelha para representar o átomo de oxigênio e as verdes para representar os átomos de hidrogênio) e fita adesiva para fixá-las.

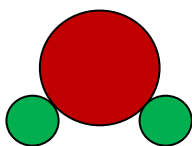
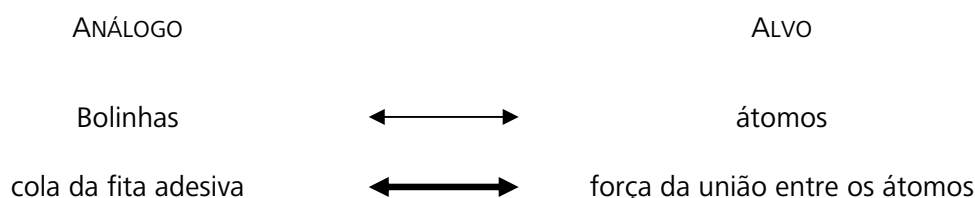


Figura 43. Representação do Professor 6 para a água.

Ao ser solicitado a descrever como explicaria para o aluno o uso da fita adesiva, o professor comparou:

A fita crepe é como se fosse uma força que mantivesse esses átomos unidos e isso é como se fosse uma lei da natureza. Existe uma afinidade, um átomo tem afinidade por outro, ou não, e de acordo com essa afinidade vai haver essa combinação. Então, eu coloquei a fita para mostrar a união, um átomo de hidrogênio se aproxima do oxigênio, como ele tem afinidade por ele, ele consegue se combinar com ele e assim o outro átomo também da mesma forma.

O professor, na comparação citada, apresentou a adesão provocada pela cola da fita adesiva utilizada na fixação das bolinhas de isopor em correspondência com a força responsável pela união entre os átomos e associou a origem dessa força a uma “afinidade” – que, para ele, seria uma espécie de tendência natural de determinados átomos que se unem –, estabelecendo, portanto, uma analogia.

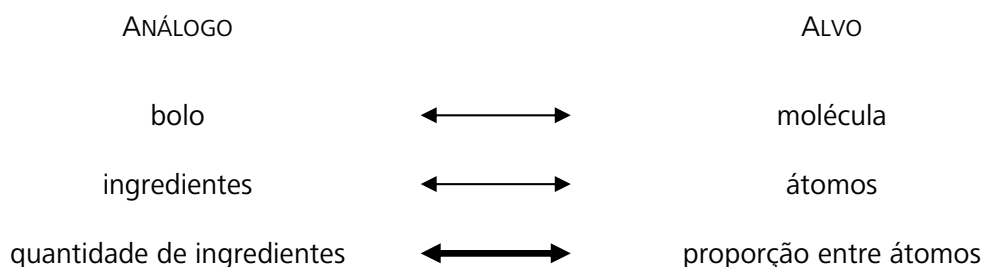


Esquema 32. Mapeamento do Professor 6 na comparação estabelecida entre a bolinhas e os átomos.

Posteriormente, ainda com o intuito de explicar a união entre os átomos, o professor estabeleceu uma nova comparação:

É como se fosse, por exemplo, é... uma receita. Então, você tem lá os ingredientes básicos. Vamos supor que você vai fazer um bolo, né? Então, você tem lá a quantidade certa de farinha, de açúcar, e assim por diante. Se você modifica essas quantidades, você vai ter alterações, por exemplo, o bolo não vai ficar... Por exemplo, não vai crescer tanto. Então, a idéia seria: a formação dos compostos das moléculas, a base seria o quê? Nós temos uma proporção de combinação correta para que haja a formação, por exemplo, dessa molécula. Então, se eu colocasse mais átomos de hidrogênio, por exemplo, é provável que não houvesse a formação da molécula. Da seguinte forma: o fato de ter... eu tenho um átomo de oxigênio só e quatro de hidrogênios. A gente sabe que o átomo de oxigênio ele teria a capacidade de só combinar com dois, então, os outros quatro (parecia querer dizer dois) poderiam estar gerando um novo composto, um outro composto químico e não fariam parte mais desse novo sistema que agora é formado pela molécula de água. (...) Da receita, a idéia seria... é aquela questão: não adianta, se você coloca muita farinha e pouco fermento, a massa, a gente sabe, não vai crescer tanto, né? Então, não formaria o bolo da forma como a gente quer. A idéia seria, por exemplo... a idéia seria: como é que se explica a formação do composto H₂O? Então, eu tenho que ter essa proporção de átomos correta

para estar gerando a molécula de água. Se eu tiver um átomo de hidrogênio só – por exemplo, vamos supor que o hidrogênio seria o fermento – com um atomozinho só, talvez ele não se ligaria. Agora se eu tenho dois, que seria o que eu consideraria a quantidade certa do meu ingrediente, aí sim, eu garanto a formação da molécula.



Esquema 33. Mapeamento do Professor 6 na analogia estabelecida entre preparação de um bolo e formação de uma molécula.

Através dessa *analogia*, o professor procurou relacionar a proporção entre os átomos constituintes de uma molécula com as quantidades ideais dos ingredientes para se preparar um bolo. Seu objetivo seria o de explicar para os alunos que as substâncias (como a água) são constituídas por proporções definidas entre seus átomos. Ao perceber que, apesar de estabelecer uma *analogia*, o professor não havia focado sua explicação na união entre os átomos, a pesquisadora solicitou que assim o fizesse. O Professor 6, então, fez a seguinte comparação para explicar por que os átomos se unem:

Hunhum. Porque eu faria um comparativo direto, por exemplo, se ele já tiver uma idéia de que, por exemplo, a gente tem um corpo qualquer, um objeto, numa determinada altura, ele tem lá o seu valor de energia. Então, se a gente tem uma situação onde a gente tem essa bolinha aqui em cima (mostra uma bolinha de isopor a certa altura da mesa) e a gente deixa essa bolinha (gesticula como se soltasse a bolinha daquela altura), ela não vai ficar aqui, porque essa situação não é a mais estável para ela. Então, ela vai buscar o quê? Uma forma de diminuir essa energia que está armazenada ali, nesse corpo ou nesse átomo, por exemplo. Então, nessa busca para a formação do composto é que nos teríamos a... O quê? A gente teria lá, por exemplo, se eu tenho um átomo sozinho, ele não seria, ele não teria é... vamos falar assim, uma estabilidade. Ele estaria com muita energia. Então, quando eu tenho um outro átomo que está na mesma situação, se eu aproximo esses átomos é como se eu tivesse deixando os átomos menos energéticos, buscando um sistema de menos energia e com maior estabilidade.

ANÁLOGO	↔	ALVO
bolinhas	↔	átomos
bolinha a uma altura h_1 ¹⁷	↔	átomos isolados
bolinha a uma altura h_2	↔	átomos combinados
estabilidade energética para a bolinha em h_2	↔	estabilidade energética para átomos combinados

Esquema 34. Mapeamento do Professor 6 na analogia estabelecida entre bolinhas e átomos.

Através das explicações fornecidas pelo professor e destacadas na citação anterior, observamos que ele parece considerar que as entidades comparadas (bolinha na posição h_1 e átomos isolados) podem armazenar energia. Esse tipo de idéia poderia reforçar nos alunos uma concepção substancialista da energia, já detectada entre os alunos por pesquisadores como, por exemplo, Souza (2007).

Após estabelecer a *analogia* anterior, o professor afirmou que, caso o aluno não compreendesse os aspectos que pretendia explicar sobre a união entre os átomos, utilizaria outros modelos que, como o de Rutherford, poderiam levar a uma melhor elucidação da estrutura atômica e que, a partir daí, ele poderia explicar a interação entre os átomos como consequência das forças de atração existentes entre estes. Ele disse também que faria representações no quadro utilizando desenhos como o da figura 44 e explicou:

Então, aí a gente sabe que... a gente tem lá o átomo de oxigênio, então aí tem uma região central que seria o núcleo e tem os níveis de energia (desenha dois círculos concêntricos, sendo o mais interno, preenchido) e eu teria lá o átomo de hidrogênio. Então, aqui um núcleo também e teria níveis de energia (desenha três círculos concêntricos, sendo o mais interno, também preenchido). Nesses níveis estão os elétrons como foi visto anteriormente pelo modelo de Rutherford e Bohr, né? Então, aqui eu estou representando as órbitas como se fossem circulares para facilitação. A gente imagina o seguinte: no núcleo a gente tem uma região central que é positiva (escreve o símbolo p associado ao círculo preenchido da representação do oxigênio) e nessa região periférica, que nós chamamos de eletrosfera, nós temos elétrons que têm carga negativa (escreve símbolos e^- próximos aos círculos mais externos das representações do hidrogênio e do oxigênio). No núcleo, os prótons com cargas positivas e nêutrons, e os elétrons na eletrosfera. Então, o que aconteceria? Inicialmente, os átomos, eles tenderiam a se aproximar devido a uma atração entre cargas de sinais opostos, então, o elétron desse átomo, que é o átomo de oxigênio

¹⁷ O Professor 6 considerou a mesa como referencial ($h_2 = 0$), portanto, h_1 (distância da bolinha até a mesa) seria maior que h_2 (distância da bolinha sob a mesa).

(aponta no desenho), *atrai, por exemplo, o núcleo do átomo de hidrogênio, até um certo ponto onde ocorra o que eu chamei de estabilidade, que é a menor energia. E assim, como o núcleo desse átomo de oxigênio atrai os elétrons desse átomo aqui* (aponta para o átomo da direita em sua representação), *que é o átomo de hidrogênio, então, nesse início, quando a gente tem os átomos se aproximando, a gente tem um domínio das forças atrativas até a região onde eu fiz a colagem* (se refere à utilização de pedaços de fita adesiva para fixar as bolinhas de isopor), *mostrando que ali nós tínhamos o máximo de atração onde ocorre a união. Daí a formação de um composto, de uma molécula.*

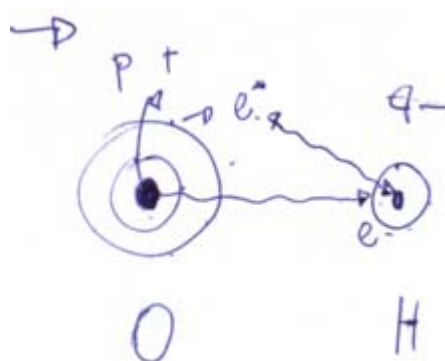
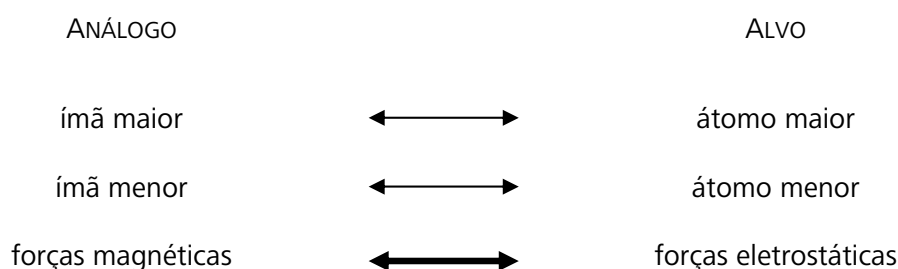


Figura 44. Representação do Professor 6 para as forças de atração entre os átomos de hidrogênio e oxigênio.

Em seguida, ao ser solicitado pela pesquisadora, ele estabeleceu uma nova comparação:

Seria mais ou menos parecido com o seguinte: como a gente pensa num ímã, por exemplo. O ímã é o quê? É um objeto que tem um... (a pesquisadora entregou-lhe dois ímãs). (...) É. Pode ser. A gente sabe que o ímã ele tem um pólo sul e um pólo norte. Então, de acordo com... vamos imaginar então que esse ímã maiorzinho aqui fosse um átomo de hidrogênio e o menorzinho átomo.... Desculpa. O átomo de oxigênio o maior e o menorzinho de hidrogênio, tá? Então esses átomos eles iriam se aproximar (aproxima os ímãs até um se encostar no outro) até chegar num limite, que é o limite mesmo do átomo ali, né?... que seria a eletrosfera dele e ele poderia se combinar. E aqui existe até uma..., como eu tinha representado anteriormente e eu desfiz, uma geometria de aproximação, que se a gente inverter a gente sabe que prevalece a repulsão entre esses átomos. (...) Então, por exemplo, eu tenho aqui o átomo de oxigênio e o átomo de hidrogênio, né? Então, quando eles vão se aproximar tem que se ter uma geometria, uma forma de combinação, de aproximação adequada. Vamos imaginar que isso aqui seria o ponto onde a atração seria máxima (mostra o pedaço de fita adesiva colada na bolinha de isopor vermelha), como no ímã. Então o átomo vai ter que se aproximar por aqui, porque se ele vier por aqui (mostra a outra região da bolinha que não contém a fita adesiva) é como se eu tivesse o ímã invertido com os pólos iguais, ou seja, está predominando o quê? A repulsão. (...) Então, a gente comparando, essa aqui seria uma geometria correta de aproximação. Agora se a gente inverter isso, aí não mais vai ocorrer essa união dos átomos.



Esquema 35. Mapeamento do Professor 6 na analogia estabelecida entre ímãs e átomos.

Podemos notar que o professor foi capaz de estabelecer uma analogia entre os ímãs e os átomos, relacionando as forças magnéticas presentes nos primeiros às forças eletrostáticas presentes nos segundos. Apesar disso, o professor associou o estabelecimento da ligação a uma “*geometria correta de aproximação*” entre os átomos na qual a atração entre eles seria máxima. O professor pareceu confundir a geometria que os átomos, depois de ligados, se dispõem, com a geometria com que as moléculas de reagentes participantes de uma reação química devem se chocar (de acordo com o modelo cinético-molecular) para que as colisões sejam efetivas, ou seja, levem à formação dos produtos. Além disso, o professor associou a atuação das forças de repulsão eletrostática, existentes entre os átomos, à aproximação dos mesmos através de uma “*geometria*” inapropriada. Esse tipo de confusão poderia levar o aluno à incompreensão do papel das forças eletrostáticas na união entre os átomos, reforçando a possível concepção da união como o estabelecimento de um contato físico entre eles.

O professor afirmou que a sua “*analogia*” (termo por ele utilizado pela primeira vez) facilitaria a compreensão dos alunos a respeito da união entre os átomos, porque seria algo “*palpável*” para eles, ou seja, dentro dos seus cotidianos. O professor afirmou também que, em princípio, através dessa comparação, os alunos “*aceitariam com facilidade*” a idéia de que, como os ímãs se atraem dependendo da posição em que são dispostos, o mesmo ocorreria com os átomos.

O professor afirmou que, embora sua analogia pudesse ser algo que ele considerava dentro da realidade de seus alunos, estes poderiam, ao utilizá-la, imaginar que as interações se restringissem aos átomos oxigênio e hidrogênio. Em suas palavras:

Porque talvez, eu pensei assim... em alguma relação, por exemplo, da diversidade até dos átomos. Porque o ímã ele tem a capacidade de atrair ou repelir, dependendo da posição, o próprio ímã ou atrair determinados materiais, né? E todos os demais ele vai estar, vamos falar assim, repelindo. Então, ele atrai materiais de ferro, cobalto e níquel e os demais não teria nenhuma ação. Então eu talvez ficasse um pouco preocupado com a variação..., por exemplo, se eu comparei o ímã com o átomo de oxigênio e o

hidrogênio eu sei que ele atrai. E o resto dos demais elementos químicos, como é que vai ser essa história? Vão ser poucos, vão ser muitos? Vai acontecer muitas uniões? Ou ele só vai ter a capacidade de interagir com ele mesmo ou com o hidrogênio?

Ao ser solicitado a explicar o termo analogia por ele utilizado durante a entrevista, o professor afirmou:

Analogia seria uma forma de modelo, onde a gente pode estar buscando algo... por exemplo, a gente faz uma analogia para facilitação do aprendizado, né? Então a gente buscaria um modelo, uma representação, seja... sei lá!... na maioria das vezes talvez macroscópicas ou de uso comum, onde grande parte das pessoas conheça, tenha conhecimento, para estar comparando. Uma forma de comparar, para se entender o que na química é microscópico, não é visível, não é palpável.

Esse professor apresentou a idéia de analogia como um modelo, ou seja, uma "representação" de um domínio conhecido pelo aluno que objetiva facilitar o seu entendimento de um domínio desconhecido, "não visível", "não palpável", ao ser comparada a este.

Ao final da entrevista, o Professor 6 afirmou que, em uma situação de sala de aula, poderia propor uma representação utilizando os próprios alunos e estabeleceu outra comparação, como mostra a citação a seguir:

É. Porque eu até pensei na hora que você me instigou: Ah! Pensa num... Como é que você poderia facilitar o ensino disso, da união dos átomos para um aluno de oitava série? Aí eu me imaginei em sala de aula, buscando como exemplo é... buscando recursos em sala de aula. Como exemplo, às vezes eu uso muito os alunos, onde eu falaria que os átomos é como se fossem os alunos, o átomo de oxigênio, por exemplo, seria um dos meninos e o átomo de hidrogênio, uma das meninas, aí no que eles se viram pela primeira vez, aí a gente fala que rolou a química, então, já há uma interação e eles permanecem unidos. Então seria mais ou menos isso que eu estaria usando. Assim, alguma coisa mais simples. Poderia estar ajudando na explicação, mas de forma mais cômica, né? Levando mais para o lado engraçado, não para o lado... seria mais um exemplo, né! Seria isso.

ANÁLOGO		ALVO
meninos	↔	átomo de oxigênio
meninas	↔	átomo de hidrogênio
união sentimental	↔	união entre os átomos

Esquema 36. Mapeamento do Professor 6 na analogia estabelecida entre pessoas e átomos.

Podemos notar que, ao final da citação anterior, o professor classificou sua comparação como um “*exemplo*” apresentado de forma cômica, demonstrando não enquadrá-la em sua definição de analogia.

Outro aspecto a ser observado é que, durante toda a entrevista, o professor somente destacou as limitações de suas analogias quando solicitado pela apresentadora, o que nos leva a considerar que, para ele, assim como para a maioria dos demais professores entrevistados, esse não seria um aspecto importante a ser ressaltado no estabelecimento desse tipo de comparação.

CAPÍTULO 5. ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS

ALUNOS

Os quadro 1 e 2, a seguir, foram construídos a partir de uma síntese dos dados, com base nos esquemas e comentários apresentados no capítulo 4 desta Dissertação. Sua construção foi realizada visando situar e dar destaque aos aspectos que consideramos centrais no estabelecimento de analogias por parte dos alunos e que, portanto, fundamentarão a análise geral dos resultados deste trabalho.

Nesses quadros, destacamos as entidades dos domínios comparados, a natureza e origem das entidades do análogo selecionado, as correspondências relacionais, as similaridades salientes no acesso ao análogo e o conhecimento saliente sobre os dois domínios comparados.

Vale ressaltar que denominamos *conhecimento saliente do aluno* aquele que é parte do conhecimento disponível em sua estrutura cognitiva, proveniente de seus conhecimentos cotidianos e escolares e do qual derivam as chamadas similaridades salientes (Vosniadou, 1989) – semelhanças conceituais e perceptuais de fácil acesso referentes aos domínios comparados.

Além disso, no quadro 2 destacamos as limitações identificadas por eles em suas analogias pré-instrução.

QUADRO 1 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS PRÉ-INSTRUÇÃO COM ALUNOS

Alunos	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Similaridades salientes no acesso	Conhecimento do alvo saliente no mapeamento	Conhecimento do análogo saliente no mapeamento
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo				
Aluno 1	Átomos	Pais/filhos	Concreto	FAC ¹⁸	atração devido aos laços afetivos ↔ atração devido às cargas elétricas	Tamanho dos átomos e das pessoas. Existência de interações atrativas.	Natureza das cargas elétricas e sua influência na atração eletrostática.	Relacionamento humano
	Átomos	Sol/planetas	Concreto	DAC ¹⁹	atração gravitacional ↔ atração interatômica	Existência de forças atrativas.	Existência de forças de atração entre átomos.	Existência de forças atrativas entre o sol e os planetas
Aluna 2	Força exercida pelos átomos	Força exercida pela mão sobre a mesa	Abstrato	DAC	força devido à massa do corpo ↔ força de atração interatômica	Existência de forças atrativas.	Existência de forças de atração entre átomos.	Peso é uma força relacionada à massa do corpo
Aluna 3 ²⁰	–	–	–	–	–	–	–	–
Aluna 4	Átomos	Pessoas chatas / pessoas legais	Concreto	FAC	atração devido aos laços afetivos ↔ atração devido à natureza das cargas elétricas	Características distintas de átomos e pessoas. Existência de forças atrativas.	Natureza das cargas elétricas e sua influência na atração eletrostática.	Relacionamento humano
	Átomos	Ímã/prego	Concreto	DAC	atração magnética ↔ atração devido às cargas elétricas	Existência de forças atrativas que promovem o contato físico entre as espécies.	Natureza das cargas elétricas e sua influência na atração eletrostática.	Atração magnética
	Nêutrons / elétrons e prótons	Sogra/casal	Concreto	FAC	impedimento de atração física ↔ impedimento de atração eletrostática	Barreira atrativa.	Natureza elétrica das partículas atômicas.	Relacionamento humano

¹⁸ FAC (Fora da área de ciências): Entidades do domínio análogo selecionadas fora da área de ciências, ou seja, a partir do mundo físico ou fruto da ficção.

¹⁹ DAC (Dentro da área de ciências): Entidades do domínio análogo selecionadas dentro da área de ciências, ou seja, a partir de conteúdos específicos abordados em áreas como a Química, Física e Biologia.

²⁰ A Aluna 3 não foi capaz de estabelecer qualquer analogia na entrevista pré-instrução.

QUADRO 1 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS PRÉ-INSTRUÇÃO COM ALUNOS (continuação)

Alunos	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Similaridades salientes no acesso	Conhecimento do alvo saliente no mapeamento	Conhecimento do análogo saliente no mapeamento
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo				
Aluno 5	Átomos / Ímãs	Mãos invisíveis ²¹	Concreto	FAC	forças de mesma direção e sentidos opostos ↔ forças de atração	Existência de forças atrativas que promovem o contato físico entre as espécies.	Reciprocidade das forças atrativas entre ímãs e átomos	Força como grandeza vetorial
Aluno 6	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	força de atração magnética ↔ força de atração eletrostática	Existência de forças atrativas que promovem o contato físico entre as espécies.	Natureza das cargas elétricas e sua influência na atração eletrostática.	Atração magnética
	Átomos	Satélite/Terra	Concreto	DAC	força gravitacional ↔ forças interatômicas	Existência de forças atrativas e repulsivas.	Natureza elétrica das forças e seu equilíbrio.	Força gravitacional
Aluna 7	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	força magnética ↔ forças interatômicas variação da atração magnética com a distância ↔ variação da atração interatômica com a distância	Existência de forças atrativas que promovem o contato físico entre as espécies e sua variação com a distância.	Existência de forças de atração entre átomos.	Atração magnética e sua variação com a distância
Aluna 8	Átomos	Planetas/Sol	Concreto	DAC	força gravitacional ↔ forças interatômicas variação da força gravitacional com a distância ↔ variação da força interatômica com a distância	Existência de forças atrativas que promovem o contato físico entre as espécies e sua variação com a distância.	Existência de forças de atração entre átomos.	Atração gravitacional e sua variação com a distância
Aluna 9	Átomos	Pessoas de temperamento igual e diferente	Concreto	FAC	atração devido aos laços afetivos ↔ atração devido à natureza das cargas elétricas repulsão devido aos laços afetivos ↔ repulsão devido à natureza das cargas elétricas	Características distintas de átomos e pessoas. Existência de forças atrativas.	Natureza das cargas elétricas e sua influência na atração e repulsão eletrostáticas.	Relacionamento humano

²¹ A entidade análoga selecionada pelo aluno foi fictícia.

QUADRO 2 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS PÓS-INSTRUÇÃO COM ALUNOS

Alunos	Entidades comparadas				Correspondência Relacional	Similaridades salientes no acesso	Conhecimento do alvo saliente no mapeamento	Conhecimento do análogo saliente no mapeamento	Limitações identificadas pelos alunos nas analogias pré-instrução
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo					
Aluno 1	Átomos	Mães/filhos adolescentes	Concreto	FAC	<p>atração devido aos laços afetivos ↔ atração devido às cargas elétricas de sinais opostos</p> <p>repulsão devido aos laços afetivos ↔ repulsão devido às cargas elétricas de sinais opostos</p>	Existência simultânea de forças atrativas e repulsivas.	Equilíbrio de forças eletrostáticas.	Relacionamento humano.	<p>Natureza física da união entre os átomos.</p> <p>Ignorância das forças de repulsão.</p>
Aluna 2	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	<p>forças de atração magnéticas ↔ forças de atração eletrostáticas</p> <p>forças de repulsão magnéticas ↔ forças de repulsão eletrostáticas</p>	Existência de forças atrativas e repulsivas.	Simultaneidade na atuação de forças eletrostáticas atrativas e repulsivas	Existência de forças magnéticas atrativas e repulsivas.	<p>Natureza física da união entre os átomos (atrato que funcionaria como cola).</p> <p>Ignorância das forças de repulsão.</p>
Aluna 3	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	forças de atração magnéticas ↔ forças de atração eletrostáticas	Existência de forças atrativas.	Existência de forças eletrostáticas atrativas não materiais.	Existência de forças magnéticas não materiais.	_22

²² A Aluna 3 não havia sido capaz de estabelecer uma analogia na entrevista pré-instrução. Suas críticas às idéias anteriores demonstraram uma incompreensão de diversos aspectos relacionados ao domínio alvo.

QUADRO 2 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS PÓS-INSTRUÇÃO COM ALUNOS (continuação)

Alunos	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Similaridades salientes no acesso	Conhecimento do alvo saliente no mapeamento	Conhecimento do análogo saliente no mapeamento	Limitações identificadas pelos alunos nas analogias pré-instrução
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo					
Aluna 4	Átomos	Pessoas chatas e legais	Concreto	FAC	<p>pessoas chatas e legais se atraindo afetivamente ↔ atração eletrostática</p> <p>pessoas chatas ou legais se repelindo afetivamente ↔ repulsão eletrostática</p>	Interações atrativas e repulsivas.	Existência de forças eletrostáticas atrativas e repulsivas.	Relacionamento humano.	Ignorância das forças de repulsão. ²³
Aluno 5 ²⁴	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Aluno 6	Cátions/ânions	Pólos dos ímãs	Abstrato	DAC	força de atração magnética ↔ força de atração eletrostática	Existência de forças atrativas e repulsivas.	Simultaneidade na atuação de forças eletrostáticas atrativas e repulsivas.	Existência de forças magnéticas atrativas e repulsivas.	Não identificação das partículas atômicas responsáveis pela existência de forças eletrostáticas. ²⁵
Aluna 7	Energia/ átomos ²⁶	Fita adesiva	Concreto	FAC	retirada do sistema (fita) ↔ fornecimento de energia ↔ separação dos átomos	Possibilidade de união e separação das espécies.	Efeito do fornecimento de energia sobre a estabilidade do sistema atômico.	Forças de adesão.	O papel da temperatura na união não seria idêntico ao das forças atrativas e repulsivas. ²⁷

²³ Refere-se às suas duas primeiras analogias apresentadas no quadro 1.

²⁴ O Aluno 5 estabeleceu uma similaridade literal ao comparar a união entre ímãs com a união entre átomos.

²⁵ Refere-se à sua primeira analogia apresentada no quadro anterior.

²⁶ A aluna selecionou o primeiro alvo (energia), a pesquisadora selecionou o segundo alvo (átomos) e aquela os relacionou por meio dos predicados.

²⁷ Na analogia estabelecida na entrevista pré-instrução, a Aluna 7 chamou a força de atração de energia cinética e atrelou esta à temperatura.

QUADRO 2 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS PÓS-INSTRUÇÃO COM ALUNOS (continuação)

Alunos	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Similaridades salientes no acesso	Conhecimento do alvo saliente no mapeamento	Conhecimento do análogo saliente no mapeamento	Limitações identificadas pelos alunos nas analogias pré-instrução
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo					
Aluna 8 ²⁸	–	–	–	–	–	–	–	–	Existência de um átomo com papel mais relevante do que outros. Correspondências equivocadas entre as partículas de água e o sistema solar. ²⁹
Aluna 9	Sobreposição dos níveis de energia	Encaixe das engrenagens	Concreto	DAC	encaixe das engrenagens ↔ sobreposição dos níveis de energia	Existência de uma região de interseção entre as espécies.	Sobreposição dos níveis de energia.	Mecanismo de funcionamento de uma engrenagem.	Existência de “encaixe” entre os átomos.

²⁸ A aluna não estabeleceu nenhuma analogia nesta fase das entrevistas; apenas comentou sobre a analogia elaborada na entrevista pré-instrução.

²⁹ Apesar de não ter estabelecido nenhuma analogia nesta fase, a Aluna 8 foi capaz de identificar limitações na analogia estabelecida na entrevista pré-instrução.

Analisando os quadros 1 e 2, observamos que as entidades análogas mais freqüentemente selecionadas pelos alunos foram: ímãs (ou materiais ferromagnéticos); Sol e planetas; e pessoas. Verificamos também que, com relação à origem e natureza dessas entidades, na maioria das vezes, os alunos as selecionaram a partir de conteúdos específicos da área de ciências (DAC) e que elas eram entidades concretas. Com relação ao conhecimento saliente sobre o domínio alvo, ou seja, sobre a união entre os átomos, verificamos uma mudança da noção da natureza elétrica da matéria para existência e simultaneidade de forças eletrostáticas atrativas e repulsivas (em alguns casos houve menção ao equilíbrio dessas forças). Como a maioria das entidades análogas selecionadas pertencia à área de ciências, o conhecimento saliente sobre o análogo demonstrado pelos alunos envolveu noções dentro dessa área, principalmente sobre as forças magnética e gravitacional.

Na identificação das limitações das analogias pré-instrução por parte dos alunos, como era de se esperar, o conhecimento saliente na fase de entrevista pós-instrução mostrou-se determinante. As principais limitações por eles reconhecidas foram: a ignorância da existência de forças de repulsão entre os átomos; a natureza física da união entre eles; e a não identificação das partículas atômicas responsáveis pela existência das forças eletrostáticas.

A partir desse panorama geral, neste momento do trabalho focamos nossa atenção na análise dos sub-processos identificados na literatura da área como constituintes básicos do pensamento analógico, a saber: *acesso, mapeamento, inferências e avaliação e generalização*, buscando identificar os fatores que influenciaram cada um deles no estabelecimento, por parte dos alunos, das analogias e similaridades literais – pois estas são governadas pelos mesmos sub-processos, segundo Gentner e Markman (1997).

Acesso

Apesar de observarmos, na maioria das comparações estabelecidas pelos alunos, a seleção de entidades concretas dos domínios análogos, as relações por eles mapeadas foram todas de natureza abstrata, associadas às suas noções de forças (de natureza elétrica, magnética ou gravitacional) e/ou de experiências humanas (sentimentos de afeição ou desafeto), como pode ser observado a partir do quadro 1. Isso implica que a natureza do análogo selecionado não influenciou no tipo de comparação estabelecida pelo aluno.

Ao contrário, o objetivo do estabelecimento das analogias que, para a maioria dos alunos, era o de explicar o processo de atração entre os átomos na primeira entrevista e a coexistência de forças atrativas e repulsivas na segunda entrevista parece ter influenciado bastante essa etapa de acesso. Muitos deles selecionaram, em ambas as entrevistas, entidades análogas do seu dia-a-dia, como ímãs, que demonstram apresentar um processo atrativo e repulsivo que eles imaginam similar ao que existe entre os átomos.

Outra observação importante no que diz respeito à origem das entidades análogas é o fato de que, apesar de a maior parte dos alunos ter selecionado entidades de domínios conceitualmente diferentes ou remotos (como átomos e ímãs ou átomos e pessoas), no caso da Aluna 2 a entidade análoga selecionada pertencia a um mesmo domínio conceitual que o alvo (forças gravitacional e interatômica), o que não impediu que ela estabelecesse uma analogia. Este dado é condizente com as idéias de Vosniadou (1989) (comentadas no capítulo 2 desta Dissertação) de que o raciocínio analógico é definido pela similaridade estrutural entre os análogos, independentemente de serem de domínios conceituais diferentes ou similares.

Constatamos também que as principais fontes de informação a partir das quais os alunos selecionaram as entidades dos domínios comparados e as relações que seriam mapeadas foram: aulas ministradas, o livro didático, as discussões com seus pares e com professores (fontes formais) e sua experiência cotidiana (fontes informais). Juntas essas fontes compõem o que definimos anteriormente como sendo o *conhecimento saliente do aluno*. Essas fontes foram explicitadas, por exemplo, pela Aluna 3, ao final da entrevista pós-instrução. A aluna, apesar de não identificar a maneira pela qual cada uma delas influenciou suas idéias e o estabelecimento da analogia, deixou claro que estas foram sendo construídas e moldadas sob a ação daquelas, como pode ser percebido através da citação a seguir:

É..., acho que passou um pouco da quarta-feira (se refere à aula anterior), da aula que você perguntou como que seria a ligação deles e tal, do Aluno X explicando o negócio lá do ovo quando quebra e tal (o aluno havia comparado a interpenetração dos níveis como dois ovos fritos nos quais, em determinada região, suas claras se interpenetrariam). Acho que isso, também. Acho que a explicação da Aluna Y (essa aluna havia comparado a união dos átomos aos elos de uma corrente). Eu pensei tipo... como que cada um explicou como é que achava, eu fui pensando... quando eu também estava na aula assim... eu não falei, mas eu fiquei pensando tipo como que eu acharia e tal que permaneceria ligado, como que seria a ligação e tal. Pensei em quando você colocou as figuras do livro que tem as três lá (figuras que representavam de três maneiras diferentes, a molécula de água: modelo de esferas conectadas por traços; modelos de esferas que se

interpenetravam; e modelo representando os níveis de energia e o compartilhamento de elétrons), *da entrevista também quando eu representei, acho que foi só isso.*

Um exemplo único, mas que vale a pena ser comentado, foi o do Aluno 5 que, baseando-se em sua experiência cotidiana sobre a reciprocidade das forças entre os ímãs, criou entidades fictícias do domínio análogo (*mãos invisíveis*) no intuito de melhorar a compreensão da pesquisadora sobre o efeito das forças atrativas existentes entre os átomos.

Outro exemplo da importante influência da experiência do aluno sobre a seleção da entidade análoga e sobre as relações que ele estabelece pôde ser identificado nos depoimentos da Aluna 9, em dois momentos diferentes da entrevista pós-instrução:

Eu acho, quando você estava explicando, estes dias aí quando você explica a matéria da divisão de elétrons, eu sempre penso na engrenagem do relógio. Que é como se fosse... aqueles... encaixes do relógio fossem os níveis de energia e ali estava sempre passando elétrons e eles iam dividindo, sabe? É como se eles dividissem mesmo. Eu acho que... é mais ou menos o que eu pensava antes. É tipo isso mesmo, a divisão de elétrons nos níveis é como se fosse o... as engrenagens.

(...) É. Porque eu não tenho ninguém em casa pra discutir química, nenhum problema que eu lembre assim, sabe? É só na aula mesmo que eu fico lembrando as coisas que você fala! (...) As coisas que eu lembro mais do livro são os desenhos. Mas na matéria mesmo eu lembro mais do que você falou. (...) Eu não tive nenhuma assim... eu não lembro de nada que eu tenha estudado o relógio assim, que eu pudesse tomar como comparação. Eu só lembro de... sabe aquele filme do Charli Charplin (eu não sei falar), que ele está assim em cima de uma engrenagem?

A citação da aluna 9 – na qual que ela tenta descrever seus processos mentais e os fatores que os influenciaram – a nosso ver, pode comprovar que enquanto tentam compreender os conceitos científicos ou solucionar problemas a eles relacionados, os alunos elaboram modelos mentais utilizando-se, para isso, de analogias, conforme afirmaram Gilbert e Boulter (1995).

Através dos exemplos anteriores, percebemos também que as fontes de informação utilizadas pelos alunos influenciaram de maneiras diferentes a etapa de acesso de cada aluno no processo de estabelecimento da analogia. Isto porque cada uma delas, através da relevância que lhe era atribuída na estrutura de conhecimento de cada aluno, forneceu informações, denominadas por Vosniadou (1989) na literatura de *similaridades salientes*. Entre essas similaridades, encontramos aquelas associadas às características das entidades comparadas e às

informações relacionais referentes a essas entidades. A seguir, destacaremos alguns casos que exemplificam essa situação.

O Aluno 1 associou o átomo de oxigênio ao pai ou à mãe, e os dois filhos aos átomos de hidrogênio na primeira analogia estabelecida na entrevista pré-instrução, demonstrando que, para ele, uma das similaridades salientes entre as entidades comparadas era o tamanho das mesmas. Esse aluno utilizou também, na etapa de acesso, a informação relacional referente à existência de interações atrativas em ambos os domínios.

Por outro lado, na analogia estabelecida pela Aluna 8 na entrevista pré-instrução entre os planetas e o Sol e os átomos, o acesso foi facilitado pelo conhecimento da existência de forças atrativas entre ambos os domínios e da influência da distância na intensidade dessa força. Ambas as informações, nesse caso, foram relacionais e comprovam que a similaridade entre conceitos (neste caso, similaridade conceitual entre a atração gravitacional e interatômica) contribui na etapa inicial de acesso do análogo, como destacado por Thagard (1992).

No caso da Aluna 9, ao estabelecer a analogia entre a sobreposição dos níveis de energia nos átomos e o encaixe de engrenagens de relógio na entrevista pós-instrução, o reconhecimento de características dos análogos que, para ela, eram salientes, foi determinante na etapa de acesso. Essas características, como pode ser observado no quadro 2, dizem respeito à existência de uma região comum entre átomos e entre engrenagens.

Considerando a natureza abstrata dos alvos percebemos, através das similaridades destacadas nos quadros 1 e 2, que, na maioria dos casos, foram informações relacionais que se mostraram salientes na seleção da entidade análoga. Os exemplos citados anteriormente vêm corroborar as idéias de Vosniadou (1989) de que uma informação que é considerada um atributo de objeto (similaridade de superfície) pode ter um difícil acesso, enquanto outras informações relacionais podem estar prontamente acessíveis àquele que raciocina analogicamente.

Mapeamento

Vale ressaltar, com base nos quadros 1 e 2 e nos comentários apresentados no capítulo anterior, que os alunos só mapearam *relações funcionais*, ou seja, eles combinaram relações do domínio análogo com relações que podiam ser aplicadas ao domínio alvo por desempenharem papéis similares. Acreditamos que a natureza abstrata do domínio análogo foi determinante

para o estabelecimento desse tipo de analogia, visto que os alunos, em sua maioria, demonstraram não utilizar suas idéias sobre a estrutura atômica na seleção das entidades análogas. Outro fator determinante parece ter sido o fato de eles terem sido solicitados a estabelecer uma comparação para um processo que envolvia atração entre entidades e não a comparação das entidades em si o que demonstra a influência dos objetivos nos mapeamentos destes alunos. As alunas que tentaram comparar as propriedades descritivas das entidades (Aluna 3 na entrevista pré-instrução e Aluna 8 na entrevista pós-instrução) não foram capazes de estabelecer analogias, ficando restritas a comparações de *mera aparência* como observamos nas citações seguintes:

É... como se fosse assim, quando você pega, por exemplo, a massinha mesmo, aí quando você apertar as duas assim (demonstra utilizando os pedaços de massinha verde e vermelha), aí elas se unem... (...) Tipo... um pouco de uma vai pra outra e... a da vermelha vai um pouco pra a verde e a verde vai pra vermelha. (...) Aí vamos supor que a vermelha tivesse elétrons negativos e a outra, elétrons positivos. Aí elas iriam... elas iriam, elas iriam chocar com as partículas da água... aí uma iria para cima da outra. Aí pelo fato de os opostos se atraírem, aí eu acho que elas se uniriam. (Aluna 3, quando solicitada a fazer uma comparação para a união entre os átomos na entrevista pré-instrução).

Não. Eu sei que não é a melhor, mas eu não consigo imaginar outra não. (...) Eu acho que... eu acho que a do sistema solar, ela é até melhor porque eu podia comparar as órbitas dos planetas, podia tipo falar assim: O sol é o núcleo, os planetas são os elétrons e a órbita dos planetas são os níveis de energia. (Aluna 8, quando solicitada a fazer uma comparação para a união entre os átomos na entrevista pós-instrução)

Outro motivo pelo qual parece que os alunos não foram capazes de estabelecer analogias era o fato de eles não apresentarem qualquer noção com relação ao domínio alvo, ou esta ser muito superficial. Suas comparações, nesses casos, se restringiram àquelas de *mera aparência* (como no caso da Aluna 3, anteriormente citado) ou, até mesmo, à chamada *anomalia* (como nas tentativas de comparação da Aluna 2 entre as forças gravitacional e interatômica na entrevista pré-instrução; e entre o “vai e vem” das ondas e as forças de atração e repulsão eletrostáticas na entrevista pós-instrução). A nosso ver, isso demonstra que o conhecimento disponível ao aluno sobre os dois domínios comparados influencia no tipo de comparações por ele estabelecidas e no número de relações por ele mapeadas.

Retomando o caso da Aluna 2, comprovamos mais uma vez a influência do conhecimento disponível ao aluno sobre suas comparações, pois, como destacado na

apresentação dos resultados, por possuir a noção de força como algo não material, esta aluna utilizou comparações relacionais para explicar a força de atração entre os átomos. Entretanto, quando solicitada a estabelecer uma comparação para a união entre os átomos, ela não foi capaz de estabelecer comparações relacionais. Acreditamos que isto aconteceu pelo fato de ela ter demonstrado possuir noções muito superficiais acerca desse processo.

O conhecimento saliente da Aluna 4 na entrevista pós-instrução sobre o domínio alvo fez com que ela adaptasse os predicados relacionais referentes ao domínio análogo para que eles gerassem relações coerentes com aquele conhecimento saliente de que cargas de mesma natureza elétrica se repelem e de naturezas opostas se atraem. Na analogia estabelecida entre pessoas e átomos, ela relacionou as pessoas chatas e legais baseando-se em sua experiência cotidiana de que “os opostos se atraem e os iguais se repelem” (afirmação popularmente conhecida). Deste modo, ela demonstrou, como destacado anteriormente na discussão do sub-processo de acesso, a influência dessas experiências e do objetivo na seleção das entidades e relações a serem mapeadas. Isso parece ir de encontro ao que foi destacado na literatura por Holyoak e Thagard (1989) de que o objetivo guia a seleção de um domínio análogo e a identificação dos seus aspectos importantes no contexto, além de focalizar a atenção do pensador sobre os aspectos da situação alvo que são relevantes para alcançar a solução do problema.

Na entrevista pós-instrução do Aluno 6, pudemos constatar que seu conhecimento saliente sobre ligação iônica foi determinante no estabelecimento das relações analógicas entre os pólos de ímãs e os átomos, quando ele associou a alternância entre os pólos de sinais opostos nos ímãs com a alternância na formação de cátions e ânions nos átomos para justificar a atração entre eles:

Acho que seria como se fosse assim: tem dois ímãs, e... (...) Então tá assim, na hora que transfere, como se fosse aqui... jogando aqui, lembrando (relembra a localização anterior dos átomos à direita e à esquerda), como se fosse transferir um elétron, você iria trocar. O sul, por exemplo, viria para cá e o norte para cá (coloca o dorso das mãos um de frente para o outro) e assim vão ficar trocando, mas eles sempre vão estar atraídos (inverte a posição das mãos fazendo com que as palmas fiquem uma de frente para outra para representar a inversão dos pólos). (...) Aí na hora que compartilhou, aí virou, aí vai continuar atraído. Compartilhou de novo, aí virou. Aí o que era sul vai virar norte e o que era norte vai virar sul, é a mesma coisa do cátion e do ânion.

A Aluna 7 e a Aluna 8, ambas na entrevista pré-instrução, foram capazes de relacionar não só as forças de naturezas diferentes como também a relação da variação das intensidades destas com a variação da distância. Enquanto para a primeira o conhecimento saliente sobre o domínio análogo, determinante na identificação e mapeamento das relações, parece ter sido fundamentado em sua experiência cotidiana³⁰, para a segunda, o conhecimento saliente sobre o análogo, baseado no tema “atração gravitacional” estudado em Física, parece ter sido o fator determinante na condução dos mesmos sub-processos. Isto parece ser comprovado pela citação de um trecho encontrado no livro de Ciências (compartilhado pelas disciplinas de Química e Física) desses alunos:

A força gravitacional depende da massa dos corpos e da distância entre eles. Quanto maior a massa, maior a força. E quanto maior a distância menor a força. (Gewandsnajder, 2004, p. 157.)

Ainda com relação à Aluna 7, vale a pena comentar a peculiaridade do mapeamento envolvido em sua analogia na entrevista pós-instrução. Essa aluna, ao ser solicitada a esclarecer o papel da temperatura na união entre os átomos, colocou em correspondência a entidade análoga (fita adesiva) com apenas um dos alvos (energia), porém, foi capaz de inter-relacionar os dois alvos e o análogo através das combinações de informações que realizou (esquema 20). Esse tipo de mapeamento parece demonstrar um conhecimento mais profundo por parte do aluno sobre os aspectos e as entidades comparados.

Inferências

As sucessivas analogias estabelecidas pelos alunos, em suas tentativas de fornecer maiores esclarecimentos sobre suas idéias, permitiram que, por diversas vezes, eles reformulassem suas explicações, demonstrando que o processo de geração de analogias, como constatado por Wong (1993), pode estimular novas inferências e insights. Além disso, mais uma vez, os objetivos se mostraram relevantes.

Por exemplo, a Aluna 4, na entrevista pré-instrução, ao estabelecer a analogia entre ímã/prego e os átomos, disse que a força de atração que o ímã exerceria no prego seria maior do que aquela que o prego exerceria no ímã e que nos átomos isso não ocorreria porque os

³⁰ A entrevistadora foi informada pelo professor de Física desses alunos que eles não estudavam magnetismo nesse nível de ensino, apesar do tema ser abordado no livro didático.

nêutrons, além de impedirem que os elétrons de um átomo se chocassem com os prótons do seu núcleo, garantiriam a igualdade de cargas entre os átomos. Em seguida, após prestar os esclarecimentos solicitados pela pesquisadora, ela mudou de idéia, associando a igualdade das forças à igualdade de cargas elétricas e estabeleceu uma analogia na qual relacionou o papel do nêutron somente ao segundo papel que havia atribuído a eles (analogia entre a sogra e os nêutrons).

O Aluno 6 também foi solicitado, na entrevista pré-instrução, a esclarecer suas idéias de que os átomos se mantêm presos através do núcleo e de que haveria um contato físico entre eles. Ao responder, ele reformulou essa idéia, como pode ser observado através da citação a seguir:

Será que na verdade eles não..., não estão assim ligados e tal, mas teria, por exemplo, um pouco afastados e..., esse átomo aqui de hidrogênio continua funcionando normalmente, só que atraído? Teria uma atração aqui entre eles, mas eles não se chocam.

A reformulação destacada anteriormente permitiu que o aluno acessasse um novo domínio análogo a partir do conhecimento que estava prontamente disponível a ele naquele momento, permitindo-lhe também estabelecer uma analogia (entre Planetas/Sol e átomos), na qual considerou suas novas idéias. Na época dessa entrevista (mesma época em que a Aluna 8 foi entrevistada), os alunos já haviam estudado o tema “atração gravitacional” na disciplina Física, demonstrando, também neste caso, a influência da similaridade de conceitos na etapa de acesso. O livro de Ciências adotado na escola traz a seguinte informação relacionada à comparação do Aluno 6:

(...) É também a força gravitacional que mantém os satélites (naturais ou artificiais) girando ao redor dos planetas. (...) Para colocar um satélite artificial em órbita ao redor do planeta, é preciso lançá-lo com certa velocidade. Se a velocidade for baixa, ele cairá na Terra logo após o lançamento. Por outro lado, se for muito alta, o satélite se afastará cada vez mais da Terra, sem retornar. (...) O que mantém os satélites girando é a força gravitacional da Terra, que atua como força centrípeta. (Gewandsnajder, 2004, p. 163-164.)

Um aspecto importante já destacado na apresentação dos resultados é o de que, a despeito do pouco conhecimento deste aluno sobre os domínios comparados, ele foi capaz de perceber aspectos importantes do domínio alvo³¹, o que nos pareceu evidenciar uma

³¹ Como a natureza eletrostática das forças, o equilíbrio existente entre elas na união entre os átomos.

modificação conceitual por parte desse aluno. Ao final da entrevista, ele foi capaz, ainda, de perceber a possibilidade de coexistência de modelos que lhe permitiriam explicar determinados aspectos de um mesmo fenômeno.

Esses exemplos demonstram que o fato de os alunos serem solicitados a elucidar suas idéias (que parecem ser pouco esclarecedoras para eles mesmos) – tanto na entrevista pré-instrução quanto na entrevista pós-instrução – foi determinante para a reformulação dessas idéias e, conseqüentemente, para a reformulação das analogias nelas fundamentadas. Através desses processos de elucidação e reformulação, os alunos demonstraram ser capazes de criar um novo conhecimento a respeito do alvo e preencher possíveis falhas no seu entendimento, conforme destacado por Gentner e Holyoak (1997) na literatura.

Avaliação

Poucos alunos foram capazes de identificar, espontaneamente, as limitações de suas analogias. Na maioria das vezes, eles o fizeram quando solicitados pela pesquisadora na entrevista pós-instrução. Isso pode significar que, ao estabelecer suas analogias, os alunos imaginavam uma correspondência totalmente compatível entre os domínios comparados e, por isso, não perceberam a necessidade de encontrar suas limitações. Por outro lado, a identificação das limitações de suas analogias (seja espontaneamente, ou quando solicitados pela pesquisadora) influenciou diretamente no estabelecimento das novas analogias ou reformulação das anteriores, o que demonstra que este também pode ser um fator determinante na produção de novas inferências e insights e ressalta a influência dos objetivos neste sub-processo.

A Aluna 9, por exemplo, numa tentativa de estabelecer uma comparação na entrevista pré-instrução, percebeu, espontaneamente, que sua explicação apresentava algo de incoerente ao levar em consideração suas idéias sobre atração e repulsão eletrostática, como pode ser percebido através da citação seguinte:

Semelhante ao estado sólido da substância, que você mesma falou que fica junto. As substâncias ficam próximas e sem se mexerem, assim (fecha as duas mãos e reproduz um movimento de vibração). Acho que ficaria tipo isto, assim, próximo, ia ficar pertinho quando for da mesma substância. Agora de outra substância ia ficar... Não. Talvez ficasse..., de substância diferente, ficasse até próximo, porque dependendo da carga, se uma for positiva e a outra for negativa. Não sei. Mas, difícil... Deixa eu tentar explicar. Ah, é isso mesmo! Uma substância igual, os

átomos da substância iam ficar próximos ou até mesmo longe. Ah, não sei, isso está confundindo! Porque aquele negócio que a gente já estudou de cargas negativas se unem e cargas positivas se repelem, isso que está na minha cabeça, isso está me atrapalhando.

Esse processo de identificação da limitação de sua comparação a partir das informações que estavam disponíveis em sua estrutura conceitual permitiu que a Aluna 9 estabelecesse uma relação analógica com base nesse conhecimento saliente sobre o domínio alvo:

Igual aquele negócio que as pessoas vivem falando, que os opostos se atraem, é como se o átomo ou a substância, né?... do hidrogênio e do oxigênio fossem diferentes, então elas iam se unir. Agora pessoas iguais dizem que nunca dá certo! E que, é como se fossem os átomos de mesma substância iam se repelir e não iam conseguir juntar assim.

Por outro lado, embora a Aluna 8 não tenha sido capaz de estabelecer uma analogia na entrevista pós-instrução – devido à incoerência entre sua idéia sobre a inexistência de forças atrativas entre os átomos e sua tentativa de reformular sua comparação entre o sistema Sol/planetas e os átomos estabelecida na entrevista pré-instrução – ela foi capaz, como destacado no quadro 2, de identificar as limitações da analogia anterior. Dada a importância desse processo, achamos necessário destacar que, no caso dessa aluna, o principal fator que permitiu a identificação espontânea de idéias errôneas – como a existência de um átomo com papel mais relevante do que outro e a correspondência equivocada entre a partícula de água e o sistema solar – foi o fato de ela reformular continuamente seus modelos sobre a ligação entre os átomos de hidrogênio e oxigênio com base em seus conhecimentos no período dessa entrevista. Esta última limitação ficou ainda mais evidente em sua tentativa de reformular a analogia da primeira entrevista, conforme pode ser observado através da citação que se segue:

Eu podia tipo falar assim: O Sol é o núcleo, os planetas são os elétrons e a órbita dos planetas são os níveis de energia. (...) É, eu podia comparar com o sistema solar, mas ia ter que ter várias modificações. Eu vejo mais fundamento, mas eu modificaria ela [sic]. (...) Tipo assim: lá, eu comparei os planetas com cada átomo e, hoje em dia eu usaria assim... como se fossem dois sistemas solares, aí, eu falaria assim que o último planeta, tal... os pares... aí eles iam ver que a última órbita ia ficar entre os dois ali, entre os dois átomos, que seriam os dois sistemas solares.

Para ilustrar a influência exercida pela identificação ou não de limitações nas analogias estabelecidas pelos alunos nos casos em que isso não ocorreu de maneira espontânea, citaremos como exemplos os alunos 1 e 5, na entrevista pós-instrução.

Como pode ser observado a partir das citações que se seguem, o Aluno 1, ao ser solicitado pela pesquisadora, foi capaz de identificar a existência de uma união física entre os átomos e a ignorância das forças repulsivas como limitações de suas analogias estabelecidas na entrevista pré-instrução.

Um encostado no outro assim. Bem encostado (encosta uma mão na outra). (...) Agora são... é uma força de atração entre o núcleo de um e os elétrons do outro.

Um átomo está atraindo o outro, o núcleo de um está atraindo os elétrons do outro aí eles... O núcleo de um atrai os elétrons do outro e também tem uma força de repulsão entre os dois núcleos, mas eles estão bem juntos também.

Notamos a influência da identificação dessas limitações sobre a analogia estabelecida entre mãe/filhos adolescentes e os átomos quando o Aluno 1 combinou predicados referentes ao domínio alvo, destacados na citação anterior, com aqueles referentes ao domínio análogo que diziam respeito aos laços afetivos (não materiais) atrativos e repulsivos entre os filhos e a mãe em determinada situação social.

No caso do Aluno 5, em contrapartida, podemos verificar que o fato de não ter sido capaz de identificar sua idéia sobre a existência de um contato físico entre os átomos como uma limitação de suas analogias estabelecidas na entrevista pré-instrução fez com que ele fundamentasse uma similaridade literal entre os ímãs e os átomos nessas idéias incorretas do ponto de vista científico. Conseqüentemente, ele só foi capaz de reformular aquela comparação com relação ao reconhecimento da existência de partículas atômicas responsáveis pelas forças eletrostáticas entre os átomos. Isso pode ser verificado por meio das citações seguintes, através das quais esse aluno explica sua representação e, em seguida, estabelece sua comparação:

As meias esferas e o oxigênio (aponta para a esfera maior de isopor), então, aqui eles estariam bem unidos, porque teria como se fosse uma delimitação (aponta para a superfície externa das esferas). Por dentro é oco, onde estão os prótons, os nêutrons e os elétrons. Essa força de atração vai acontecer, vai fazer com que eles se juntem e fiquem um grudado no outro.

É em parte como um ímã, porque aí o ímã vai ter só a força de atração, que eu acho assim: que o ímã vai ter só a força de atração que aí ele vai ficar só atraído. Tem parte do ímã que você vai chegar perto, ele não atrai, fica repelindo, mas aí parte dessa... parte é explicada pelo ímã que é a força de atração e parte é a força de repulsão para não deixar que eles se unam completamente e formem um outro átomo, entendeu?

Generalização

Esse sub-processo, descrito por Gentner e Holyoak (1997) como a extensão das inferências a todos os casos a que se possa aplicá-las, não foi verificado a partir de nossos dados. Isso pode ter ocorrido porque os alunos participantes das entrevistas não foram solicitados a fazê-lo e, tal como na determinação das limitações (para a maioria deles), o processo não seria espontâneo. Acreditamos que tal fato não significa que esses alunos não sejam capazes de fazer generalizações, mas que não o fizeram durante as entrevistas realizadas nesta pesquisa.

Outros aspectos das comparações dos alunos e de como elas foram estabelecidas

De uma maneira geral, ao analisarmos os sub-processos envolvidos no estabelecimento das analogias pelos alunos, observamos que alguns deles (1, 5, 8 e 9) foram capazes (de maneira espontânea ou não) de avaliar suas analogias, identificando suas limitações; de estabelecer relações entre um análogo e mais de um alvo (como no caso da Aluna 7); ou de identificar mais de uma informação relacional (como nos casos das alunas 7 e 8) e de gerar inferências e insights a partir de suas próprias analogias e das idéias que as fundamentavam. A nosso ver, isto corrobora a observação de Vosniadou (1989) de que o mecanismo de raciocínio analógico se desenvolve com o desenvolvimento do sistema conceitual do indivíduo sob o qual este mecanismo opera.

Apesar de o nosso enfoque ser o estabelecimento de analogias, verificamos que foi muito freqüente entre os alunos o estabelecimento de comparações de *mera aparência*. Como comentado anteriormente, isto ocorreu, principalmente, entre os alunos que não apresentavam qualquer noção com relação ao domínio alvo ou os que apresentavam uma visão muito superficial. Como destacado por Gentner (1983; 1989; 1997), nessas comparações os indivíduos colocam em correspondência somente atributos de objetos, o que resulta em elas serem comparações limitadas em sua utilidade preditiva. Neste trabalho, percebemos que, apesar disso, elas podem ser fontes esclarecedoras sobre as representações mentais que os alunos constroem em relação ao domínio alvo. Por exemplo, quando o Aluno 1, na entrevista pré-instrução, colocou em correspondência características descritivas dos átomos e das bolas (esquema 1), deixou claro que imaginava a existência de uma superfície limitadora nos átomos, como evidenciado pela citação seguinte:

Ah, eu pensava num círculo, numa bola, assim cheio de elétrons rodando, sei lá. Bola. (...) Como se fosse uma bola mesmo e lá dentro tivesse o núcleo e os elétrons estivessem rodando.

Essa comparação facilitou nosso entendimento com relação a diversas outras idéias apresentadas pelo aluno ao longo da entrevista, em especial aquelas referentes às suas comparações relacionais (analogias e similaridade literal – esquemas 2 e 4, e 3, respectivamente).

Outro exemplo, entre os vários apresentados no capítulo anterior em que esse tipo de comparação nos esclareceu sobre as representações mentais do aluno, foi o da Aluna 3. Na entrevista pré-instrução, ela expressou a idéia de partículas de água flexíveis e, posteriormente, explicou a união entre os átomos através de uma fusão que ocorreria na região do “contato” entre eles. Em ambos os casos, as explicações foram expressas por meio de comparações de mera aparência como pode ser observado através das citações.

(...) Acho que ela seria mais tipo assim (desenha algo meio oval, mas sem uma delimitação regular), mais assim e eu acho que ela seria assim mais... um pouco mais mole e como se fosse uma gelatina. Tipo uma gelatina.

É... como se fosse assim, quando você pega, por exemplo, a massinha mesmo, aí quando você apertar as duas assim (demonstra utilizando os pedaços de massinha verde e vermelha), aí elas se unem... (...) Tipo... um pouco de uma vai pra outra e... a da vermelha vai um pouco pra a verde e a verde vai pra vermelha.(...) Aí vamos supor que a vermelha tivesse elétrons negativos e a outra, elétrons positivos. Aí elas iriam... elas iriam, elas iriam chocar com as partículas da água... aí uma iria para cima da outra, aí pelo fato de os opostos se atraírem, aí eu acho que elas se uniriam.

Outro tipo de comparação estabelecida pelos alunos foram as *similaridades literais*. Através dessas comparações, eles combinaram não somente os predicados relacionais, mas também predicados de objeto, mesmo que estes não fossem coerentes com o modelo científico consensual. Nos dois casos em que esse tipo de comparação ocorreu (alunos 1 e 5), os alunos mapearam a união física de objetos (ímãs) para a união física entre os átomos. No caso do Aluno 1, esse tipo de idéia só apareceu na entrevista pré-instrução, enquanto no caso do Aluno 5, ela foi recorrente na entrevista pós-instrução.

Particularmente no caso do Aluno 5, aliado à sua experiência cotidiana com a união física de ímãs, estava o fato de ele possuir um modelo mental inadequado para os átomos, ambos prontamente acessíveis em sua estrutura de conhecimento. Essa comparação, por

envolver a combinação de atributos de objetos, parece ter sido mais facilmente percebida pelo aluno, o que também parece ter facilitado a combinação dos predicados que relacionavam as forças de atração e repulsão magnéticas com as forças de atração e repulsão eletrostáticas, como destacado por Gentner e Markman (1997).

O Aluno 1, diferentemente do Aluno 5, parece ter mudado suas idéias com relação ao alvo, conforme podemos notar a partir das citações seguintes, através das quais ele diferencia o significado do termo "*bem juntos*" para os átomos nas entrevistas pré e pós-instrução respectivamente:

Um encostado no outro assim. Bem encostado. (Encosta uma mão na outra).

(...) Agora são... é uma força de atração entre o núcleo de um e os elétrons do outro.

O fato de esse aluno ter estabelecido uma similaridade literal na entrevista pré-instrução (além de uma comparação de mera aparência) e de ter estabelecido somente analogias na entrevista pós-instrução, pode demonstrar o que ressaltaram Gentner e Markman (1997) sobre a existência de um *continuum* entre similaridades literais e analogias. A nosso ver, aliada à possibilidade da existência deste *continuum* está a possibilidade da transição de um raciocínio por meio de similaridades literais (ou até por meio de comparações de mera aparência) para um raciocínio relacional em sua essência, transição essa fundamentada na compreensão do conhecimento disponível ao aluno.

PROFESSORES

Os quadro 3 e 4, como os anteriores, foram construídos a partir de uma síntese dos dados apresentados no capítulo 4 desta Dissertação e, portanto, com os mesmos objetivos dos quadros 1 e 2.

No quadro 3, destacamos as entidades dos domínios comparados, a natureza e origem das entidades do análogo selecionado, as correspondências relacionais, as concepções inadequadas dos professores com relação aos domínios comparados e os fatores que, a nosso ver, limitaram ou contribuíram no estabelecimento das analogias por parte dos professores.

No quadro 4, destacamos as idéias dos professores com relação às analogias de uma maneira geral – o conceito de analogias e suas utilidades – e, em particular, às analogias por eles estabelecidas – limitações identificadas pelos próprios professores.

**QUADRO 3 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS COM PROFESSORES REFERENTES
À ELABORAÇÃO DAS ANALOGIAS**

Professores	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Concepções inadequadas relacionadas aos domínios comparados	Principais fatores limitantes (L) e determinantes (D) no estabelecimento das analogias
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo			
Professora 1	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	atração magnética ↔ atração eletrostática	<p>Força de atração como sinônimo de energia.</p> <p>Existência de uma superfície externa que delimita os átomos.</p> <p>Desconsideração das forças de repulsão entre os átomos unidos.</p>	<p>Conhecimento de algumas concepções alternativas dos alunos referentes ao tema (D).</p> <p>Aparente desconhecimento das forças magnéticas de repulsão (L).</p> <p>Modelo inadequado para representar o átomo (L).</p> <p>Conhecimento de que uma analogia seria uma comparação entre domínios análogos (D).</p>
Professora 2	Átomos	Casal	Concreto	FAC	união por laços afetivos (casamento) ↔ ligação entre os átomos estabilidade afetiva ↔ estabilidade energética	<p>Idéia de afinidade como uma tendência natural de átomos que se unem.</p> <p>Estabilidade como sinônimo de força.</p> <p>Desconsideração das forças de repulsão entre os átomos unidos.</p>	<p>Repertório de diferentes predicados que relacionavam os mesmos domínios comparados (D).</p> <p>Desconhecimento de que os alunos podem não distinguir entre os predicados que relacionam os domínios (L).</p>
	Átomos	Casal	Concreto	FAC	atração devido aos laços afetivos ↔ atração eletrostática		
	Átomos	Casal	Concreto	FAC	união estável (casamento) ↔ ligação entre os átomos compartilhamento das “coisas” ↔ estabilidade energética		

**QUADRO 3 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS COM PROFESSORES REFERENTES
À ELABORAÇÃO DAS ANALOGIAS (continuação)**

Professores	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Concepções inadequadas relacionadas aos domínios comparados	Principais fatores limitantes (L) e determinantes (D) no estabelecimento das analogias
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo			
Professor 3	Átomos	Pessoas	Concreto	FAC	combinação entre pessoas ↔ ligação entre átomos estabilidade afetiva ↔ estabilidade energética	Idéia de contato físico entre os átomos. Idéia de que átomos se ligam por uma “necessidade de complementaridade”.	Reconhecimento da natureza comparativa dos modelos (D). Idéia de que comparações de mera aparência são analogias (L). Modelo inadequado para representar o átomo (L).
Professor 4	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	forças magnéticas ↔ forças eletrostática	Desconhecimento de que a natureza das interações entre moléculas e entre átomo é a mesma. Confusão entre o sentido da grandeza vetorial força e sua natureza	Desconhecimento do conceito de analogia (L). Conhecimento sobre as concepções errôneas dos alunos que podem ser derivadas de representações animistas (D).
Professora 5	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	atração magnética ↔ atração eletrostática variação da atração com a distância ↔ variação da atração com a distância distância mínima entre os ímãs ↔ distância mínima entre os núcleos	–	Repertório pobre em analogias (L). Medo de utilizar analogias devido às concepções errôneas que podem gerar (L). Conhecimento de que as analogias estabelecem relações entre dois domínios. (D). Compreensão sobre modelos e sua utilização no ensino de ciências (D).

QUADRO 3 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS COM PROFESSORES REFERENTES À ELABORAÇÃO DAS ANALOGIAS (continuação)

Professores	Entidades comparadas				Correspondência relacional	Concepções inadequadas relacionadas aos domínios comparados	Principais fatores limitantes (L) e determinantes (D) no estabelecimento das analogias
	Alvo	Análogo	Natureza do análogo	Origem do análogo			
Professor 6	Átomos	Bolinhas	Concreto	FAC	cola da fita adesiva une as bolinhas ↔ força une os átomos	<p>Idéia de afinidade como uma tendência natural de átomos que se unem.</p> <p>Idéia de uma geometria correta de aproximação, para que os átomos se unam.</p> <p>Idéia de que as forças de repulsão se manifestam entre os átomos quando estes se aproximam com uma geometria inadequada.</p> <p>Idéia de armazenamento de energia.</p>	<p>Idéia de analogia como modelo (D).</p> <p>Concepções inadequadas sobre geometria de ligação. (L).</p> <p>Restrição das analogias às representações macroscópicas (L).</p>
	Molécula	Bolo	Concreto	FAC	quantidade de ingredientes ↔ proporção entre átomos		
	Átomos	Bolinhas	Concreto	DAC ³²	estabilidade energética para a bolinha em h_2 ³³ ↔ estabilidade energética para átomos combinados		
	Átomos	Ímãs	Concreto	DAC	forças magnéticas ↔ forças eletrostática		
	Átomos	Meninos/meninas	Concreto	FAC	união sentimental ↔ união entre os átomos		

³² As bolinhas foram associadas a objetos que variam sua energia potencial de acordo com a sua posição.

³³ O Professor 6 considerou a mesa como referencial, portanto, h_2 , distância da bolinha até a mesa, seria igual a zero.

QUADRO 4 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS COM PROFESSORES REFERENTES ÀS SUAS IDÉIAS A RESPEITO DAS ANALOGIAS

Professores	Conceito de analogia	Limitações identificadas pelos professores em suas analogias	Opiniões sobre as utilidades das analogias
Professora1	Comparação entre entidades de domínios conceituais diferentes.	Idéia de contato físico entre os átomos. Não diferenciação da natureza das forças relacionadas. Idéia de força como algo material.	Auxiliam no entendimento do conteúdo por diminuir a abstração do conhecimento.
Professora2	Exemplos; comparações.	Associação do termo estabilidade às uniões efêmeras entre pessoas.	Facilitam o entendimento do conteúdo por associarem a algo familiar aos alunos.
Professor 3	Comparações que, apesar de facilitarem a compreensão de determinado assunto, são maneiras erradas e grosseiras de se ensinar.	Não diferenciação entre os domínios comparados ³⁴ .	Diminuem a abstração do conceito (tornando-os mais “visíveis” e “palpáveis”) ³⁵ . Facilitam a compreensão do aluno. Podem ser utilizadas para introduzir um assunto, mas, em seguida, devem ser corrigidas.
Professor 4	Representações macroscópicas e animistas, através das quais se utiliza uma linguagem não científica ³⁶ .	A idéia de que pólos diferentes se atraem no ímã pode restringir a idéia de ligação a átomos de cargas opostas. Idéia de que em um dos ímãs existiria um próton e, no outro, um elétron.	Facilitam a aceitação, por parte dos alunos, das idéias iniciais sobre um determinado conceito. Diminuem a abstração do conceito.

³⁴ Essa limitação foi identificada pelo Professor 3 para seus modelos. Como ele que reconheceu a natureza comparativa dos mesmos, assumimos que a limitação seria válida também para as analogias.

³⁵ Essa utilidade foi identificada pelo Professor 3 para seus modelos. Como ele que reconheceu a natureza comparativa dos mesmos, assumimos que a utilidade seria válida também para as analogias.

³⁶ Para o Professor 4, a analogia que estabeleceu entre ímãs e átomos seria uma “comparação”.

QUADRO 4 – DADOS OBTIDOS NAS ENTREVISTAS COM PROFESSORES REFERENTES ÀS SUAS IDÉIAS A RESPEITO DAS ANALOGIAS (continuação)

Professores	Conceito de analogia	Limitações identificadas pelos professores em suas analogias	Opiniões sobre as utilidades das analogias
Professora 5	Relações estabelecidas entre domínios familiares e não familiares por meio de características semelhantes.	Ausência de explicação para as forças de repulsão. Idéia de força como algo material.	Facilitam a compreensão dos alunos por tornarem os conceitos menos abstratos. No caso específico de sua comparação, permite o estabelecimento de mais de uma relação ³⁷ .
Professor 6	Representação de um domínio conhecido comparada com um domínio desconhecido, com o objetivo de facilitar o entendimento deste.	Restrição da aplicabilidade da analogia ao caso da água.	Diminuem a abstração do conceito. Facilitam a aceitação de idéias introdutórias aos conceitos.

³⁷ As relações que a professora identificou como úteis em sua analogia foram: a existência das forças de atração entre os dois domínios e sua dependência com a distância.

De maneira similar ao que foi feito para os quadros 1 e 2, analisaremos os quadros 3 e 4 buscando fornecer uma visão geral sobre as analogias estabelecidas pelos professores e sobre suas idéias com relação a essa ferramenta de ensino.

A partir do quadro 3, observamos que as entidades análogas mais freqüentemente selecionadas pelos professores foram: ímãs e pessoas. Com relação à natureza, as entidades selecionadas foram todas concretas. Verificamos também que, com relação à origem dessas entidades, os professores variaram entre aqueles que as selecionaram exclusivamente a partir de conteúdos específicos da área de ciências (DAC) – como os professores 1, 4 e 5; exclusivamente a partir de entidades do mundo físico fora da área de ciências (FAC) – como os professores 2 e 3; ou a partir de ambas as origens – como o Professor 6.

Nas entrevistas, os professores demonstraram certas concepções inadequadas com relação aos modelos atômicos (professores 1 e 3), aos modelos de ligação (professores 1, 2, 3, 4 e 6) e à energia (Professor 6); e confusões na utilização de termos científicos como força, energia e estabilidade (professores 1, 2, 4).

Dentre os fatores que consideramos como influenciadores no estabelecimento das analogias por parte dos professores, destacamos aqueles que foram determinantes e limitantes no processo, todos eles referentes ao conhecimento saliente do professor.

Denominamos *conhecimento saliente do professor* aquele do qual tomam parte seus conhecimentos de conteúdo e pedagógico e do qual derivam as chamadas similaridades salientes referentes aos domínios comparados (Vosniadou, 1989).

Os fatores considerados determinantes se relacionaram ao conhecimento sobre as concepções alternativas dos alunos (manifestado pelos professores 1 e 4), aos modelos no ensino de ciências (Professora 5) ou ao conhecimento sobre analogias (manifestado, mesmo que parcialmente, por todos os professores); e, os fatores considerados limitantes, ao domínio do conteúdo (idéias inadequadas que influenciaram o estabelecimento das analogias pelos professores 1, 3, 5 e 6) ou ao pouco conhecimento sobre analogias (professores 2, 3, 5, 6).

Analisando o quadro 4, observamos que o conceito de analogia de professores como 2 e 4 era inadequado, pois estes demonstraram confundir as analogias com outras ferramentas de ensino, sejam elas apropriadas (como os exemplos) ou não (como as representações animistas). O Professor 3 também manifestou seu desconhecimento com relação às analogias ao expressar a idéia de que elas são maneiras erradas e grosseiras de se ensinar. Por outro lado, os professores 1, 5 e 6 conseguiram perceber que elas são relações

entre domínios análogos, apesar de a Professora 1 restringi-las a domínios conceitualmente diferentes e de a Professora 5 não reconhecer que elas são comparações.

As limitações identificadas pelos professores em suas analogias podem ser divididas em dois grupos: referentes ao modelo de ligação (professores 1, 4 e 5) e referentes à utilização ou interpretação das analogias por parte dos alunos (professores 2, 3 e 6).

Finalmente, as principais utilidades identificadas pelos professores para as analogias foram: diminuir a abstração do conteúdo (professores 1, 3, 4, 5 e 6), auxiliar na introdução de um conceito (professores 1, 2, 3 e 6), auxiliar na compreensão de conteúdos (professores 3 e 5), facilitar a aceitação de idéias por parte dos alunos (professores 4 e 6) e, permitir o estabelecimento de mais de uma relação entre os domínios comparados (professora 5).

Como fizemos para os alunos, a partir desse panorama geral, focaremos na análise dos sub-processos do pensamento analógico estabelecido pelos professores. Além disso, quando relevante, estabeleceremos relações entre alunos e professores.

Acesso

Os objetivos do estabelecimento das analogias por parte dos professores, como era de se esperar, foram bem diferentes daqueles que conduziram e motivaram o processo por parte dos alunos. No caso daqueles, esses objetivos, todos de natureza pedagógica, eram: facilitar sua explicação de algum aspecto do conteúdo (como a existência de forças de atração entre os átomos ou a estabilidade de átomos unidos); evitar uma possível concepção alternativa por parte dos alunos (por exemplo, a de que força é algo material) ou introduzir um determinado tema (como a idéia de compartilhamento na ligação covalente associada à estabilidade dos átomos). Esses objetivos, individualmente ou em conjunto, e tal qual ocorreu com os alunos, parecem ter influenciado as etapas do raciocínio analógico dos professores, com destaque para as de acesso e mapeamento.

As entidades concretas como ímãs ou pessoas, selecionadas predominante entre os professores, foram consideradas por eles facilitadoras da compreensão do conteúdo devido à possibilidade de diminuírem o grau de abstração desse conteúdo. Isso demonstra a influência dos objetivos nessa etapa de acesso, como pode ser exemplificado pela citação da Professora 1:

Eu acho que isso ajudaria ele a entender porque diminui a abstração desse tipo de conhecimento. Primeiro ele quer saber o que é essa estrutura, o que é isso, primeiro a gente fala que é água, que os átomos estão ligados. Mas como esses átomos estão ligados? É muito difícil para um aluno pensar em uma atração entre esses átomos. E, inicialmente... mesmo depois que a gente

vê a ligação química, eles vão estar sempre imaginando mesmo, a atração e os elétrons sendo compartilhados, a atração entre cargas. Mas, de qualquer forma, eu acho que nesse primeiro momento ele precisa sentir, sabe? Sentir sobre o que a gente está falando, precisa ser mais palpável para ele e eu acho que, nesse ponto, isso ajuda. Mostrar essa atração. Então, esses átomos não ficam soltos por aí, ou, não é do nada que eles estão próximos, existe uma força que mantém. E eles sentem isso, porque se você só falar... Se eu só falo, fica muito vago.

Acreditamos que, por esse mesmo motivo, professores como 2, 3 e 4 acessaram entidades do domínio análogo a partir do mundo físico fora da área de ciências para estabelecer suas comparações.

Outra semelhança com a etapa de acesso no raciocínio analógico estabelecido pelos alunos é o fato de as similaridades salientes contribuírem nessa fase inicial. No caso específico dos professores 1, 4, 5 e 6, que compararam ímãs e átomos, a fonte de informação referente às *similaridades salientes* não se restringiu à experiência cotidiana daqueles professores com os ímãs, mas também ao seu conhecimento de conteúdo que lhes permitiu acessar similaridades conceituais – e, portanto, profundas – entre as forças magnéticas e eletrostáticas, contribuindo nessa etapa inicial do raciocínio, como destacado por Thagard (1992).

Um aspecto importante já destacado por Thiele e Treagust (1994) e que tivemos a oportunidade de observar em nossos dados, foi o fato de os professores tenderem a extrair suas analogias de sua própria experiência ou de suas leituras profissionais. Isso pode ser constatado através das citações seguintes nas quais os professores 1, 2 e 6, respectivamente, expressam suas familiaridades com as analogias estabelecidas:

Ah normalmente eu penso..., quando eu penso em mostrar pra eles que existe uma energia, uma força de atração, algo que mantém esses átomos juntos, eu penso mesmo na analogia do ímã, claro...

(...) Para que dois átomos se ligam? Por que eles formariam isso daqui? (mostra a representação de H₂O no desenho do papel). Eu falo de uma maneira bem... Quando eu vou falar dos átomos se ligarem eu dou muito exemplo de casamento (risos)...

(...) Como exemplo, às vezes eu uso muito os alunos, onde eu falaria que os átomos é como se fossem os alunos. O átomo de oxigênio, por exemplo, seria um dos meninos e o átomo de hidrogênio, uma das meninas. Aí, no que eles se viram pela primeira vez, aí a gente fala que rolou a química, então, já há uma interação e eles permanecem unidos.

Mapeamento

Os professores, como os alunos, só mapearam *relações funcionais*. Isto reforça a influência da natureza do alvo e do processo a ser explicado (ou problema a ser resolvido) no tipo de relações estabelecidas entre os domínios por aquele que raciocina analogicamente.

Apesar de o sub-processo de acesso, como discutido anteriormente, ter sido facilitado pelas similaridades conceituais percebidas pelos professores com base em seu conhecimento de conteúdo, as relações por eles mapeadas se restringiram, na maioria das vezes, àquelas referentes à comparação das forças de naturezas diferentes ou das estabilidades afetiva e energética. Novamente, percebemos a influência dos objetivos pedagógicos, pois dado o nível de ensino dos alunos a que essas analogias se destinavam, muitos dos professores expressaram a idéia de que, com o objetivo de introduzir o tema, essas deveriam ser as relações a serem discutidas. Podemos verificar isso através das citações das falas dos professores 2 e 4, apresentadas a seguir:

(...) Aí é lógico que essa comparação, ela seria eficiente dependendo do grau de maturidade – eu falo maturidade, mas até de conhecimento da pessoa, tá? Porque eu só queria que ela sentisse o que é uma atração (encosta e afasta a esferinha de ferro do ímã), o que é uma repulsão. Ela sentiria. Porque é uma menina de oitava série.

(...) Então, eu costumo falar até de um casal de namorados que ficam tão bem quando eles estão juntos, melhor do que quando estão separados, né? Então, eu falo com eles que com os átomos também acontece isso. É um modo semelhante. Agora, que há um interesse por trás desse estar bem juntos. Então que, para os átomos também há um interesse ao se unirem nessa união estável. Quer dizer, pra buscar essa estabilidade aqui, é que vai ter a união. Eu acho que eles entendem! (Risos) Acredito que sim! Porque é a relação entre dois: homem e mulher e que... buscando alguma coisa. Buscando essa estabilidade, através de um determinado interesse. Porque depois, aí você vai falando com eles... Para os átomos, qual seria esse interesse? Quer dizer, essa estabilidade vai ser provocada pelo quê? Então, até quando você fala lá do compartilhamento de elétrons, fica mais fácil eles entenderem. Eu acho que sim!

Ao contrário dos demais professores, a Professora 5, a partir da analogia citada a seguir, foi capaz de perceber e mapear outras relações além das já citadas anteriormente, como pode ser observado no quadro 3. Levando em consideração que as entidades acessadas pertenciam ao domínio da área de ciências, notamos que a percepção dessas diferentes relações foi influenciada pelo domínio do conteúdo, que permitiu a essa professora perceber similaridades conceituais salientes não mapeadas pelos outros

professores. Estes, por sua vez, podem não tê-las acessado porque objetivavam a explicação somente dos aspectos destacados anteriormente ou porque não foram capazes de reconhecê-las.

(...) A gente falou de... como que fala?... de um jogo de forças, né? E essas forças têm a ver com a tendência... com essa necessidade que o átomo tem de se estabilizar de alguma maneira. Aí eu tenho um ímã lá, né? Aí eu ia falar que, inclusive, essa força ela varia muito em função da distância entre os átomos. Aí eu mostraria para ele, deixaria ele pegar. Você está vendo? O ímã, um não atrai o outro nesta distância (coloca um pedaço de ímã afastado do outro, encenando a situação com o aluno), mas à medida que eu vou aproximando um do outro, você sente que essa força vai aumentando. Então, essa atração tem a ver com vários fatores, inclusive a distância entre... No fim das contas a distância entre os núcleos – que ele já sabe – desse e desse (mostra uma das bolinhas verdes e a bolinha vermelha de sua representação – figura 42) é uma... é um balanço dessas forças, de repulsão que tem entre seus núcleos e de atração que tem... (...) Que no fim das contas, a distância que um núcleo fica do outro, esta distância que um átomo fica do outro ou que um núcleo fica do outro, entre os núcleos da ligação, essa distância é resultado desse jogo de forças. (...) Tipo... a mesma coisa, se eu quisesse aproximar mais ainda esse ímã desse (mostra os dois pedaços unidos), não tem como! É como eu querer aproximar mais ainda determinado núcleo de outro. Não tem como. Energicamente é desfavorável.

Através dessa citação e do esquema 31, podemos perceber que, aquilo que para muitos dos alunos eram consideradas propriedades profundas derivadas do seu conhecimento saliente sobre os domínios comparados – como a existência de forças similares entre átomos e entre ímãs para os alunos 4 e 6 na entrevista pré-instrução e para os alunos 2, 3 e 6 na entrevista pós-instrução –, para a Professora 5 eram propriedades salientes, a partir das quais ela combinou outras relações como a variação da força com a distância e a distância mínima entre os núcleos atômicos.

De modo semelhante, os professores 2 e 3, ao relacionarem a união entre pessoas estabelecida por meio de laços afetivos com a ligação entre os átomos, demonstraram considerá-las como propriedades salientes, ao contrário do que ocorreu com os alunos 1 e 4 nas entrevistas pré-instrucionais, para os quais essas seriam propriedades profundas. Guiados pelo objetivo de explicar o baixo conteúdo energético de átomos ligados, os professores citados mapearam a estabilidade afetiva para a estabilidade energética que seria então, para estes, propriedades profundas. Esse fato corrobora as idéias de Vosniadou e Brewer (1987) e pode gerar problemas na interpretação por parte dos alunos com relação aos aspectos mapeados pelos professores que não estejam prontamente acessíveis àqueles. Outro problema verificado através de nossos dados e já identificado por Taber e Watts (apud Taber, 2003) é o de que professores acreditam que os alunos compreendem com

clareza o sentido metafórico de suas analogias. Como pode ser observado através da situação descrita pela Professora 2, embora ela saiba diferenciar entre os predicados referentes aos domínios análogos, seu aluno não foi capaz de fazê-lo e pareceu, por isso, assumir para o alvo predicados referentes ao análogo, sem que a professora percebesse o ocorrido.

Mas é interessante assim: tem momentos que às vezes... Aí quando a gente começa a falar da ligação iônica, já tive aluno que virou para mim e falou assim: mas essa... essa união... esse tipo de casamento aí, é muito interessante, né! (...) Um dá e o outro só recebe, né! Quer dizer, esse aluno conseguiu fazer a comparação. É, realmente! Quer dizer... o casamento melhor é o compartilhamento, né! Mas o risco assim específico, não. Não sei... Não saberia te falar.

Sendo assim, e conforme destacaram Duit et al. (2001), parece que as analogias utilizadas pelos professores possuem um significado claro e fixo sob o ponto de vista destes, mas não de seus alunos. Como outro exemplo, podemos citar a comparação proposta pelo Professor 3 entre pessoas e átomos:

(...) Alguém existe combinando com alguém, porque é melhor para ele é mais estável para ele, ou seja, eu preciso de uma energia para existir. Quanto menor esta minha energia, melhor para mim, menos gasto para mim. Então eu acho que se eu tenho aqui hidrogênio separado, oxigênio separado, hidrogênio separado, eles existem numa energia, a partir do momento que eu faço essa combinação... ah, o meu sistema, eu vejo que ele está com uma energia menor. Ele é mais favorável para uma existência, então, isto justifica uma ligação entre esses átomos.

Para aquele professor, o mapeamento entre a estabilidade afetiva gerada pela união de duas pessoas que se gostam seria claramente relacionado à menor quantidade de energia de átomos unidos e, portanto, à estabilidade destes. Porém, ao associar a união entre pessoas a um menor "gasto" de energia, ele poderia levar o aluno a pensar em um maior conteúdo energético no domínio análogo que, por sua vez, poderia ser estendido ao domínio alvo, conduzindo-o a uma incompreensão dos aspectos comparados ou à formação de concepções errôneas.

Apesar de muitos dos professores, como mencionado anteriormente, acreditarem que os alunos compreendem o sentido metafórico de suas analogias, o Professor 4, ao identificar as utilidades dessas comparações, ressaltou que sua compreensão envolveria também uma compreensão de diversos aspectos conceituais, ou seja, dependeria de um grande salto conceitual que os alunos poderiam não ser capazes de realizar

prematuramente, conforme também reconheceram alguns professores participantes da pesquisa de Treagust et al. (1992).

Eu acho que ela... (se refere à uma aluna genérica) aceitaria. Por que os meninos, eles vão aceitando, né? Enquanto não tiver outra dúvida então, enquanto não tiver um outro por quê, chega um ponto que, tipo assim: Ah tá! Então, tá lá positivo com negativo... mas tem muita coisa que ela poderia estar perguntando ali. Por que o núcleo não atrai o elétron do mesmo átomo? Então são coisas assim que... ela, simplesmente ela vai se convencer, porque acho que ela vai só limitar naquela ligação, né? E eu mostrei para ela... eu tenho medo de ter mostrado aqui e ela achar que isso é negativo (mostra um pedaço de ímã), isso aqui é positivo (mostra o outro pedaço de ímã utilizado na comparação), atraiu, certo? Então, é muito complicado, às vezes a gente até tentar explicar de uma maneira mais... é... mais profundo, vamos colocar assim, porque podem ir surgindo outras dúvidas, outras dúvidas e, de repente, igual eu falei, a menina tem que amadurecer naqueles... cinco minutos.

Ainda com relação a esse processo de identificação de correspondências, vale destacar que o Professor 3, por duas vezes, estabeleceu comparações de *mera aparência*, associando propriedades descritivas entre os análogos (como as ligações estabelecidas entre os átomos com alunos de mãos dadas ou com o corpo de uma caneta ao qual se fixavam duas tampas). Esse mesmo tipo de comparação foi estabelecida pelo Professor 6 que, ao comparar a fita crepe que unia as bolinhas de isopor com a força que unia os átomos, manifestou a idéia de que essa união ocorreria devido a uma afinidade natural de certos tipos de átomos. Essas comparações parecem demonstrar que os professores apresentavam concepções inadequadas com relação aos domínios comparados e, portanto, elas desempenham um papel similar àquele que desempenharam entre os alunos: permitir acessar os aspectos do conteúdo que precisam ser mais bem discutidos no sentido de modificar essas concepções que podem interferir na aprendizagem do assunto.

Inferências e Avaliação

Levando-se em consideração o contexto em que as analogias foram estabelecidas pelos professores e o propósito a que se destinavam – explicar para os alunos a união entre átomos –, inferências analógicas resultantes dos mapeamentos dos predicados análogos não foram observadas. Isso parece ser condizente com o objetivo apresentado, visto que esse é um sub-processo do raciocínio que o professor endereça ao aluno e a partir do qual ele pode avaliar, mesmo que parcialmente, sua compreensão com relação aos aspectos comparados.

Como no caso dos alunos, em que poucos foram capazes de identificar, espontaneamente, as limitações de suas analogias, somente os professores 1 e 4 o fizeram. Todos os demais somente as identificaram quando solicitados pela pesquisadora. Conforme afirmamos na apresentação dos resultados desta Dissertação, isso pode significar que, sob o ponto de vista desses professores, tal aspecto não fosse importante o suficiente a ponto de ser ressaltado no estabelecimento de suas analogias. Esse tipo de idéia contrariaria as indicações de Thiele e Treagust (1994) de que a identificação das limitações é uma condição necessária para o efetivo uso das analogias na prática da sala de aula.

A identificação das limitações por parte dos professores foi fortemente influenciada pelos seus objetivos pedagógicos e, portanto, pelos seus conhecimentos pedagógicos (principalmente com relação às concepções alternativas dos alunos) e de conteúdo. Isso pode ser observado nas citações abaixo, referentes às falas das professoras 1 e 6, respectivamente:

No entanto, é complicado fazer essa analogia porque os átomos, eles não são encostados. (...) Porque quando eu penso em mostrar isso para eles, eu diria: olha não é esse tipo de... não é assim que a molécula está, não é assim que os átomos estão, porque não existe contato entre eles, existe essa força de atração que vocês estão sentindo aqui. Essa força de atração que não é uma matéria, não é material é o que existe entre esses átomos e que mantém eles a uma distância determinada, que eles nem vão se chocar, não vão colidir, e nem uma vão se afastar e separarem. É essa força de atração.

Eu imagino que, se fosse comigo, no meu caso, já tem um bom tempo... não foi sempre assim, não, mas já tem um bom tempo que eu tomo cuidado quando eu vou explicar modelos, né? Que modelos não são a realidade. Que eles servem para explicar a realidade que você usa... eles são frutos de um trabalho mental que eu fiz para explicar isto ou aquilo. Eu imagino que, se ele entende bem que isso aqui (aponta para a representação em que utilizou bolinhas de isopor e palitos) é um modelo, né? Ele está entendendo que isto aqui não é a molécula de água. Do mesmo jeito que eu imagino que se eu usei uma analogia, ele está entendendo que isso é só uma analogia. Eu tentei falar para ele: Olha não é um ímã, mas é parecido com... É como se fosse, né? Mas se mesmo assim ele... eu visse assim: Olha ele não entendeu, está achando que é um ímã, não é isso? (...) Eu vou falar: Você está achando que é o ímã? Não é um ímã, é parecido com. (Risos). Eu estou tentando te mostrar... como se fosse.

Ao serem solicitados a identificar as limitações de suas analogias, alguns dos professores expressaram seu receio na utilização dessas comparações por dois motivos principais: (i) medo de que seus alunos retivessem mais o conceito análogo em detrimento do alvo (Ferraz & Terrazzan, 2002; Treagust et al., 1992) e, conseqüentemente, fizessem extrapolações incorretas ao interpretarem as analogias e (ii) conhecimento das advertências

contidas na literatura da área sobre os problemas na utilização das analogias. Esses aspectos são observados nas citações das falas dos professores 1, 2, 5, respectivamente:

E o segundo ponto: é que como ele vê o ímã, e vê que ele está..., que eles estão colidindo, que está tendo contato físico direto, ele pode pensar isso para o átomo também. Que os átomos estão encostados um no outro, que não existe uma distância entre eles. E... num primeiro momento eu acho que as idéias que podem gerar... idéias erradas que podem ser geradas, são essas. E pensando em restrição para você explicar depois outros tópicos, isso pode gerar um certo problema, sabe?

Não, ou então, se prender ao exemplo e não conseguir enxergar o que eu gostaria, que eu queria que eu enxergasse, né!... que é a comparação, né? Porque... eu acho assim também, há uma extrapolação muito grande, né?... pra ele.

(...) Por exemplo... um exemplo de analogia que a gente usa muito... Quase todas são... muitas são perigosas de se usar, né? Eu não consegui lembrar um exemplo de analogia. Comparações! (...) Uma analogia. A gente vê tantas em livros didáticos e todas são tão condenadas que às vezes eu fico até com medo de usar... uma analogia....

Generalização

Esse sub-processo também não foi verificado a partir de nossos dados sobre o estabelecimento de analogias pelos professores. Tal como ocorreu com os alunos, os professores não foram solicitados a fazê-lo e, portanto, para estes, são válidos os mesmos comentários.

Outros aspectos das comparações dos professores e de como elas foram estabelecidas

Além da análise dos sub-processos do raciocínio analógico, foi possível perceber outros aspectos que subjazeram o processo e foram determinantes para nossa compreensão. A seguir, nos dedicaremos a discuti-los.

Como comentamos na introdução do Capítulo 2 desta Dissertação, a linguagem metafórica era considerada, sob o ponto de vista objetivista da cultura ocidental, uma linguagem inapropriada para o meio científico, ao contrário da linguagem literal, clara e precisa. Ainda hoje, mesmo após a mudança paradigmática em que a idéia de objetividade foi reconceitualizada, podemos observar entre os professores, em particular, e no meio escolar, em geral, aquele tipo de crença, como pode ser confirmado pela citação da fala do Professor 4:

Então, eu tenho aversão, aversão mesmo a essas analogias, porque eu sei que, dependendo do instante que você falar aquilo vai ser a verdade e depois para você tirar não adianta. Ele vai falar assim: – um aluno, né? – Ah não, tudo bem! Quando você precisar de aprofundar em uma linguagem científica, ou – é lógico que a gente trabalha a linguagem científica durante o tempo todo, mas se você precisar de aprofundar – ele vai horrorizar mais ainda, como se ele tivesse vendo aquilo pela primeira vez. Então, por exemplo, desde a oitava série, eu sempre conversei... a minha linguagem é a mesma. Eu não fico falando da bolinha... Quando o menino fala assim: essa bolinha aí. Eu falo assim: bolinha? Eu não estou vendo bolinha. Então, por isso que eu falo que eu sou muito sério, os meninos me achavam muito... aquele professorzão assim... Mas é porque eu sou assim! Eu acho assim: se eu estou com um aluno e ele fala essa bolinha e eu falo: bolinha? Não é bolinha! Ah, não! Ah, esse átomo. Tá, é um átomo, mas eu também vou acentuando: olha, isso aqui é um modelo! Aí, às vezes a gente até deixa passar, mas é porque a gente esquece, né? Mas sempre eu falo: gente isso daqui é modelo! Por quê? Porque na hora que eu fosse dar uma prova escrita, esse menino não ia saber escrever o que eu estou querendo. Ele estava tendo várias maneiras de expressar uma mesma coisa. A começar comigo, se eu tivesse usando analogias. Eu estaria falando de átomos, eu estaria falando de bolinhas e estaria falando de um... uma porção que tem coisas ali para estar explicando [sic]. Então eu já acho muito difícil sair do modelo de Dalton para poder chegar até o modelo de Bohr que a gente... se eu for só delinear, sem contar a história, ficaria complicado, né? Então assim, eu não gosto das analogias, porque isso depois, eu vou falar assim para todos os sentidos da vida... o sentido do menino conversar: ele vai falar que é azul, porque é azul. Ah, mas por que é azul? Ah, porque é azul! Então vai ficar naquele negócio, né? E no sentido, vamos pensar no vestibular, na hora que ele for escrever, o que ele vai escrever? Eu que estou ensinando para o meu aluno, então ele tem que escrever direito. Escrever de acordo com o que ele pensa, mas sem usar analogias de bolinha, né?... para referir a um átomo. Porque é um átomo e não uma bolinha. Então, eu sempre trabalho essa questão de linguagem também. Então, essas analogias, eu estaria sendo conivente com a desestruturação de uma coisa que eu... eu desestruturaria o que eu acredito, né?

A investigação do processo de estabelecimento das analogias nos permitiu acessar alguns elementos dos conhecimentos de conteúdo e pedagógico dos professores como: o domínio de certos aspectos do tema ou a ele relacionados; o conhecimento de certas concepções alternativas de seus alunos; e, ainda, a manifestação de determinadas concepções inadequadas, todos estes destacados no quadro 3, no qual foram apresentados como fatores limitadores ou determinantes no processo. Para exemplificar a influência desses fatores, podemos citar o conhecimento dos professores 1 e 4 sobre as concepções alternativas de seus alunos, que fez com eles identificassem limitações espontaneamente em suas analogias; o repertório de predicados relacionais que a Professora 2 apresentou para uma mesma entidade análoga, o que permitiu que ela explorasse diferentes aspectos do

conteúdo; o conhecimento da Professora 5 sobre modelos e o seu papel na ciência, que permitiu que ela considerasse o fato de os alunos confundirem os domínios comparados; as concepções inadequadas sobre uma possível geometria de ligação correta entre os átomos do Professor 6 ou o modelo atômico inadequado da Professora 1, que poderiam induzir os alunos a concepções errôneas.

Como parte desse conhecimento, destacamos também a própria noção de analogia apresentada no quadro 4 e que muito influenciou no estabelecimento das mesmas. Por exemplo, o fato de o Professor 3 considerar analogia uma maneira grosseira de se ensinar, parece ter feito com que ele mapeasse de uma forma pouco clara os predicados relacionais em sua analogia. Isso pode ser justificado pelos fatos de esse professor considerar que, após introduzir o assunto, essas comparações devem ser corrigidas e de ele ter sido o único professor a estabelecer comparações de mera aparência, como mostram as citações seguintes:

Sempre, qualquer coisa que vou ensinar, eu tento fazer analogia com alguma outra coisa e eu sempre falo o seguinte: gente, oh, vamos pensar de maneira drástica, de maneira grosseira! Isto para você entender o que eu estou tentando falar.

Igual, hoje eu estava falando de vaporização, aí apresentei ebulição e evaporação. Aí eu falei: gente, vamos usar um termo só para gente entender, mas a gente não vai escrever isso nunca. A evaporação eu vou fazer uma analogia com o termo espontâneo. Mas o que eu estou querendo dizer com isso? Aí a gente parte para a explicação.

Outro exemplo da influência desse conhecimento no estabelecimento do raciocínio analógico foi o fato de o Professor 4 confundir analogias com representações animistas. Isso fez com que ele não reconhecesse sua comparação como uma analogia e assumisse, de forma semelhante ao Professor 3, como uma maneira incorreta de se ensinar por meio de uma linguagem não científica, conforme pudemos comprovar a partir da sua citação anterior.

No caso da Professora 2 que confundiu analogias com exemplos, isso não foi comprometedor, pois nas três comparações que estabeleceu, ela foi capaz de relacionar os domínios comparados ao invés de citar instâncias da união entre os átomos – o que seria esperado no caso de ela considerar analogias e exemplos como sinônimos. Apesar disso, o fato de desconhecer que os alunos para os quais as comparações se destinam podem confundir os domínios comparados mostrou-se, como já comentado, comprometedor.

Os demais professores (1, 5 e 6) que apresentaram idéias sobre as analogias próximas às encontradas na literatura – como comparações/relações entre domínios – foram capazes de, explicitamente, mapear relações claras entre os domínios comparados.

Outro meio importante que nos permitiu acessar as idéias dos professores sobre as analogias foi questioná-los sobre suas utilidades. O fato de a maioria deles considerar que as analogias diminuem a abstração do conteúdo parece justificar o fato de todos terem selecionado entidades concretas para o domínio análogo. Por outro lado, o fato de os professores 2, 3 e 6 selecionarem essas entidades a partir de domínios fora da área de ciências, mas dentro da experiência dos alunos, parece ser justificado pelo fato de esses professores, como aqueles que participaram da pesquisa de Thiele e Treagust (1994), reconhecerem que isso facilita a compreensão dos alunos.

Uma análise geral dos dados apresentados nesta Dissertação, referente às entrevistas com os professores de Química nos permite afirmar que eles, apesar dos inúmeros aspectos positivos anteriormente discutidos, não apresentaram um repertório bem preparado de analogias com validade constatada. Além disso, eles pareciam desconhecer a importância de um mapeamento claro de relações e da identificação das limitações das analogias para um efetivo processo de ensino e aprendizagem via analogias. Deduzimos, a partir do que foi exposto por Thiele e Treagust (1994), que esses problemas podem advir de uma defasagem com relação ao conhecimento de conteúdo referente às analogias discutidas nos curso de formação de professores e com relação ao conhecimento pedagógico referente à carência de uma melhor compreensão da maneira pela qual os alunos conseguem aprender de forma significativa.

Apesar disso, a partir do processo que culminou no estabelecimento das analogias pelos professores, concordamos com Dagher (1995a) quando ela afirma que, através dessas comparações, podemos conhecer seus valores e crenças, suas preocupações, seu conteúdo pedagógico e sua habilidade de se engajar com os alunos.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Analogias, na perspectiva deste trabalho, são modelos que propiciam o estabelecimento de relações entre dois domínios comparados – o familiar (domínio análogo) e o não familiar (domínio alvo). Dado que a noção de familiaridade é uma particularidade individual, este trabalho se propôs a investigar o estabelecimento do raciocínio analógico como um processo criativo, no qual as noções de familiaridade, as relações combinadas e os fundamentos de ambas fossem analisados a partir do ponto de vista daquele que raciocina analogicamente.

Para capturar o processo de raciocínio analógico, tivemos que fazer suposições não somente sobre os processos de comparação em si, mas também sobre a natureza das representações cognitivas conceituais e sobre como essas representações e processos interagem (Palmer, 1978 apud Gentner & Markman, 1997). Para cumprir tal tarefa, permitindo-nos construir nossos dados, utilizamos as técnicas do método clínico fundamentadas em uma intervenção sistemática do pesquisador diante da conduta do sujeito (ações, explicações ou a combinação de ambas), com o objetivo de esclarecer o sentido do que ele está fazendo no momento da entrevista.

Considerando as analogias como um recurso potencial do nosso pensamento que nos permite, entre outras coisas, a aquisição de novos conhecimentos, reconhecemos seu papel crucial na cognição humana. Tal reconhecimento motivou-nos, como a outros pesquisadores citados nesse trabalho – Gentner (1983; 1989; 1997), Holyoak e Thagard (1989; 1997; 1992), Vosniadou (1989) e Duit e Wilbers (Duit et al., 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006) –, a investigar como ocorre esse tipo de raciocínio. Nestas investigações, o processo de raciocínio analógico tem sido decomposto, na tentativa de facilitar sua compreensão e análise, em sub-processos (*acesso, mapeamento, inferências e avaliações e generalizações*). Estes nortearam também nossas análises e, enfatizando cada um deles, traçaremos nossas conclusões.

CONCLUSÕES

A partir das análises e discussões dos dados apresentadas nos capítulos anteriores e no intuito de responder nossa primeira questão de pesquisa, destacaremos, a seguir, os

aspectos considerados determinantes no estabelecimento de analogias pelos alunos investigados no contexto dessa pesquisa.

Ao acessarem um domínio análogo, os alunos se guiaram pelo objetivo de resolver uma determinada situação problema (explicar a união entre os átomos), como destacado por Holyoak e Thagard (1989; 1997; 1992) e Gentner (1983; 1989; 1997). Isto pôde ser comprovado pelo fato de a maioria deles ter selecionado o ímã como entidade do análogo, muito provavelmente devido ao fato de este apresentar um comportamento atrativo semelhante ao que objetivavam explicar. Apesar de a maioria dos alunos ter selecionado entidades concretas como domínio análogo, eles mapearam relações funcionais abstratas, ignorando, nesse mapeamento, as propriedades descritivas dos domínios comparados. Isso corrobora as idéias de *alinhamento estrutural* e *princípio de sistematicidade* presentes na teoria de mapeamento estrutural de Gentner (1983; 1989; 1997), segundo as quais os objetos comparados são colocados em correspondência um a um em virtude do papel que desempenham na estrutura relacional comum, não havendo qualquer necessidade de semelhanças superficiais entre aqueles objetos. Disso decorre que o raciocínio analógico independe do domínio conceitual a que pertencem os domínios comparados, ou seja, se eles são originários de domínios conceituais iguais ou diferentes (Vosniadou, 1989), aspecto que foi também corroborado pelos nossos dados referentes às analogias dos alunos.

Além dos objetivos, o sub-processo de acesso no raciocínio analógico dos alunos foi também influenciado por fontes de informações formais (professor, aulas, livros, ou outras fontes de conhecimento formal) e informais (experiência cotidiana) que juntas compõem o que denominamos *conhecimento saliente do aluno* – parte do conhecimento disponível em sua estrutura cognitiva, proveniente de seus conhecimentos cotidianos e escolares e do qual derivam as chamadas similaridades salientes (Vosniadou, 1989).

Ambos, objetivo e conhecimento saliente, também influenciaram diretamente o sub-processo de mapeamento, determinando o tipo de comparação estabelecida pelo aluno e o número de relações mapeadas. A primeira influência pôde ser evidenciada pelo fato de todos os alunos terem identificado e selecionado relações funcionais, guiados pelo objetivo de explicar processos que envolviam as entidades do domínio alvo e não as próprias entidades. A segunda influência foi evidenciada, por exemplo, no caso em que os alunos não apresentaram qualquer noção com relação ao domínio alvo, ou esta era muito superficial, resultando em suas comparações se restringirem àquelas de *mera aparência* ou às *anomalias*, ou seja, em nenhuma relação ser mapeada. Ao contrário, aqueles que demonstraram um conhecimento saliente bem fundamentado em determinados aspectos

do conhecimento científico foram capazes de mapear mais de uma relação entre os domínios comparados (como as alunas 7 e 8 na entrevista pré-instrução e os alunos 1, 2, 4 e 7 na entrevista pós-instrução).

No modelo de raciocínio analógico proposto por Duit e Wilbers (Duit et al., 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006) a partir de pesquisas realizadas com alunos de Física – para os quais os domínios análogo e alvo foram selecionados, imagens sobre as entidades do domínio análogo foram fornecidas e os mapeamentos foram solicitados – os autores afirmam que os alunos, quando confrontados com o alvo, geram imagens mentais e esquemas intuitivos a partir dos quais estabelecem associações preliminares entre os domínios comparados. Trabalhando num contexto em que os alunos foram solicitados a estabelecer suas próprias analogias, somos levados a afirmar que as associações mencionadas por aqueles autores não se restringem às imagens mentais ou esquemas intuitivos, mas a um sistema amplo de conhecimentos salientes na estrutura cognitiva desse aluno. Esse, a nosso ver, seria responsável pelo fato de esses alunos perceberem e mapearem determinadas similaridades dentre as várias possíveis de existir entre domínios comparados.

As inferências e avaliações no processo de estabelecimento das analogias mostraram-se favorecidas pelos estímulos recebidos pelos alunos no sentido de fornecerem maiores esclarecimentos sobre suas analogias. Durante esse processo de elucidação de suas idéias, que, por diversas vezes, ocasionou a reformulação de suas analogias (como nos casos dos alunos 4 e 6 na entrevista pré-instrução), os alunos demonstraram que novo conhecimento pode ser criado a respeito do domínio alvo e que possíveis falhas em sua compreensão podem ser preenchidas (Gentner & Holyoak, 1997). Isso ocorre porque os alunos, ao fornecerem explicações, podem fazê-lo sem refletir sobre o que dizem, numa tentativa de satisfazer ao questionamento daquele que o interroga. Porém, ao serem solicitados a explicar melhor aquilo que, às vezes, até mesmo para eles não é claro ou que parece incoerente com outras idéias manifestadas, são motivados a refletir sobre elas, o que, muitas vezes, permite que eles as modifiquem ou as substituam.

Os alunos tenderam a identificar as limitações de suas analogias somente quando solicitados e, em todos os casos, tal processo também foi influenciado pelo seu conhecimento saliente. Essa solicitação de identificação de limitações, que foi feita no contexto da solicitação de que eles prestassem mais esclarecimentos sobre idéias anteriores, demonstrou influenciar na produção de novas inferências e *insights* por eles.

Todos esses aspectos que governaram os sub-processos apresentados, exceto a identificação das limitações (que só foi solicitada na entrevista pós-instrução), foram comuns ao estabelecimento de analogias pelos alunos em ambas as fases de entrevistas: pré e pós-instrução. Observou-se também, a partir da comparação dessas etapas de nossa pesquisa, uma mudança no nível de aprofundamento das similaridades estruturais mapeadas pelos alunos da entrevista pré-instrução para a entrevista pós-instrução³⁸, fornecendo-nos mais uma evidência sobre a influência do conhecimento saliente no raciocínio analógico desses alunos. De uma maneira geral, nossos dados corroboram a idéia de Vouniadou (1989) de que o mecanismo analógico se desenvolve de acordo com o desenvolvimento conceitual do indivíduo e não por meio de uma mudança desenvolvimental como propõe Gentner (1989), visto que os alunos foram capazes de estabelecer comparações relacionais que se diferenciaram pelo grau de abstração que fundamentava suas idéias.

No contexto em que essa pesquisa foi realizada, como mencionado no Capítulo 5 desta Dissertação, não observamos o sub-processo de generalização no processo de raciocínio analógico dos alunos.

Com o objetivo de responder nossa segunda questão de pesquisa, destacaremos os aspectos considerados determinantes no estabelecimento de analogias pelos professores investigados no contexto dessa pesquisa.

No sub-processo de acesso, os professores foram guiados pelos seus objetivos pedagógicos (explicar algum aspecto do conteúdo curricular; evitar uma possível concepção alternativa por parte dos alunos; introduzir um determinado tema). Nesse sub-processo, as similaridades salientes, advindas de fontes dos conhecimentos pedagógico e de conteúdo que compõem o que denominamos *conhecimento saliente dos professores*, exerceram forte influência.

A influência desse conhecimento saliente foi evidenciada pelo fato de a maioria dos professores ter selecionado como entidade do domínio análogo os ímãs, por saberem serem estes familiares aos alunos e apresentarem similaridades que poderiam ser facilmente reconhecidas por estes (existência de forças atrativas) – aspectos que os próprios professores afirmaram ao justificar suas analogias.

O sub-processo de mapeamento também sofreu influência dos conhecimentos pedagógico e de conteúdo dos professores. Seus objetivos pedagógicos mostraram-se determinantes especialmente na seleção das relações a serem mapeadas. As relações

³⁸ O foco das relações mapeadas pelos alunos mudou da natureza elétrica da matéria para a simultaneidade de forças eletrostáticas atrativas e repulsivas, após as aulas introdutórias ao tema.

mapeadas eram funcionais e observou-se o alinhamento estrutural e o princípio de sistematicidade nesse sub-processo, ou seja, as entidades comparadas foram colocadas em correspondência em virtude do papel que desempenhavam na estrutura relacional comum aos dois domínios e não em função de suas propriedades descritivas, o que é coerente com a própria definição de analogia assumida nesta pesquisa.

Os professores pesquisados somente identificaram limitações em suas analogias quando solicitados e, para tal, basearam-se novamente nos conhecimentos salientes. Eles também demonstraram ignorar a importância desse sub-processo para o uso efetivo das analogias como recursos didáticos.

Como podemos notar, os conhecimentos pedagógicos e de conteúdo dos professores influenciaram todos os sub-processos do raciocínio analógico que puderam ser observados em nosso contexto de pesquisa. Sendo assim, nossos dados corroboram parcialmente as idéias de Duit e Wilbers (2006) de que as analogias dos professores são elaboradas a partir da estrutura de conteúdo do conhecimento envolvido. A isso acrescentamos a não menos importante influência do conhecimento pedagógico do professor – evidenciada a partir de nossos dados e considerada também nos trabalhos de Thiele e Treagust (1994), Ferraz e Terrazzan (2002) e de Dagher (1995a) – que, em parceria com o conhecimento de conteúdo, compõem o conhecimento saliente do professor.

Como destacado no Capítulo 5 desta Dissertação, nesse mesmo contexto, inferências analógicas e generalizações resultantes dos mapeamentos dos predicados análogos não foram observadas no raciocínio analógico de professores.

No propósito de responder terceira questão de pesquisa, destacaremos as semelhanças e diferenças observadas no estabelecimento das analogias pelos alunos e professores.

Com relação ao sub-processo de acesso, embora ambos – alunos e professores – tenham sido guiados pelos seus objetivos, estes eram de naturezas diferentes. Enquanto os alunos se propunham a solucionar uma situação problema baseados em seu conhecimento saliente, os professores eram guiados por objetivos didáticos específicos, também parte de seu conhecimento saliente.

As peculiaridades dos objetivos nos raciocínios analógicos dos alunos e professores fizeram com que estes, em muitos casos, restringissem as relações analógicas mapeadas ao intuito de que os alunos percebessem a existência de forças atrativas entre os objetos comparados, ao passo que aqueles, principalmente na entrevista pós-instrução, mostraram-se capazes de considerar e mapear a existência simultânea de forças atrativas e repulsivas

na tentativa de explicar como os átomos se mantêm unidos. Isso parece demonstrar que, ao permitir que os alunos elaborem suas próprias analogias, o professor pode obter informações sobre o conhecimento saliente do aluno com relação ao assunto que almeja ensinar e, a partir deste, fundamentar suas ações.

Isso ressalta a influência dos objetivos na seleção do domínio análogo e na identificação dos aspectos importantes do contexto, como destacado por Holyoak & Thagard (1989). Sendo assim, compartilhamos com esses autores a idéia de que os objetivos permeiam todo o processo de raciocínio analógico, contrariando as idéias de Gentner (1989) de que os objetivos só influenciariam as etapas de acesso e avaliação.

Em ambos os raciocínios, o acesso também sofreu a influência comum das similaridades salientes. Aqui também a diferença se deu com relação à origem dessas similaridades que, para os professores, foram seus conhecimentos de conteúdo e pedagógicos e, para os alunos, seus conhecimentos cotidianos e escolares. Essa diferença fez com que, em determinadas situações, propriedades consideradas profundas pelos alunos, fossem, nas analogias dos professores, consideradas salientes (Vosniadou & Brewer, 1987) – como no caso dos alunos 4 e 6 na entrevista pré-instrução cuja única relação estabelecida foi a da existência de forças atrativas nos ímãs e átomos o que, no caso da Professora 5 serviu para embasar a relação profunda da variação dessa força com a distância – ou que os professores demonstrassem acreditar que o sentido metafórico de suas analogias seria plenamente compreendido pelos seus alunos (Taber e Watts apud Taber, 2003).

Observamos também que, em todos os casos em que os alunos e professores selecionaram entidades análogas dentro da área de ciências (DAC), estas apresentavam similaridades de conceitos envolvendo os domínios comparados que facilitaram o sub-processo de acesso, o que corrobora as idéias de Thagard (1992) e Vosniadou (1989) sobre as similaridades salientes.

Consideramos que aspectos como esses evidenciados em nosso trabalho corroboram também as idéias Duit e Wilbers (2006) – que afirmaram que alunos interpretam as analogias fornecidas pelos professores de maneira diferente da que estes almejam; e de Duit et al. (2001) – os quais destacaram que as analogias utilizadas pelos professores podem possuir um significado claro e fixo sob o ponto de vista destes, mas não de seus alunos. Isso ocorre porque as analogias não são diretamente transferidas de uma estrutura cognitiva (a do professor) para outra (a do aluno), mas são reinterpretadas por estes conforme destacou Dagher (1995a).

Finalmente, salientamos, a despeito de o nosso propósito maior ser o de investigar o raciocínio analógico por meio das analogias, o papel das comparações de *mera aparência* em tornar acessíveis as concepções errôneas dos alunos e professores sobre o domínio alvo ou suas entidades (como ocorreu com os alunos 1 e 3 na entrevista pré-instrução e com o Professor 3) que podem interferir no processo de aprendizagem (Gentner & Markman, 1997).

Outro tipo de comparação que merece destaque são as *similaridades literais*. Especulamos que, aliada à possibilidade da existência de um *continuum* entre estas e as analogias destacada pelos autores anteriormente citados, está a possibilidade de transição da primeira para a segunda a partir de processos de aprendizagem analógica fundamentada no conhecimento saliente de quem as elabora. Essa transição poderia promover a aquisição de conhecimento pelo indivíduo, pois as analogias, diferentemente das similaridades literais (que envolvem o mapeamento de propriedades descritivas e relações), envolvem apenas correspondências relacionais entre os análogos. Isso, muitas vezes, pode necessitar um maior grau de abstração daquele que estabelece a comparação, especialmente no domínio de ciências.

MODELOS DE RACIOCÍNIO ANALÓGICO SOB O ENFOQUE DO PROCESSO CRIATIVO

Discutiremos aqui, à luz de nossos resultados, as principais idéias presentes nos modelos de raciocínio analógico apresentados nesse trabalho. Vale ressaltar, conforme já esclarecemos em outros pontos, que nossas análises se pautaram no pressuposto de que o raciocínio analógico é relacional por natureza e que envolve a busca pelo estabelecimento de correspondências estruturais, aspectos comuns a todos os modelos apresentados, apesar de suas particularidades.

Sob esse enfoque, pudemos constatar a dominância estrutural proposta na teoria de mapeamento estrutural (Gentner & Markman, 1997) a partir da observação de que a maioria das comparações estabelecidas pelos professores e alunos ignorava propriedades descritivas como cor, tamanho ou forma, enquanto eram mapeadas somente as relações percebidas. Isso pode ser notado a partir dos quadros 1, 2 e 3 que resumem e destacam essas relações.

Discordamos dessa teoria pelo fato de Gentner (1983; 1989; 1997) associar o desenvolvimento do raciocínio analógico à fase desenvolvimental em que o indivíduo se encontra e, embasados no fato de que os alunos foram capazes, tanto nas entrevistas pré-

instrução quanto nas entrevistas pós-instrução, de estabelecer analogias acreditamos, como Vouniadou (1989), que o raciocínio analógico se desenvolva com o desenvolvimento da base de conhecimento do indivíduo da qual faz parte o conhecimento conceitual. Outro elemento que também evidencia esse aspecto, é o fato de muitos alunos terem mapeado relações envolvendo a simultaneidade de forças atrativas e repulsivas nas entrevistas pós-instrução, sendo essas consideravelmente mais complexas do que as relações que mapearam nas entrevistas pré-instrução, as quais envolviam somente as forças atrativas, cuja origem muitos alunos demonstraram desconhecer. Isso demonstra também o que foi destacado por essa última autora em relação a, no processo de aquisição de conhecimento, as propriedades das representações fundamentais das pessoas mudarem.

Em consonância com as idéias de Vouniadou (1989) sobre as similaridades salientes (conceituais ou perceptuais) e de Thagard (1992) – “multiconstraint theory” – sobre as similaridades conceituais, acreditamos que estas são apenas instâncias daquelas e que atuam como facilitadoras do processo de acesso. Isso foi evidenciado pelo fato de a maioria dos professores e alunos ter selecionado entidades do domínio análogo dentro da área de ciências, indicando que consideravam a existência das similaridades conceituais entre os domínios comparados.

Outro aspecto, destacado por Vosniadou e Brewer (1987) e observado em nossos dados, foi o de que propriedades profundas nas analogias dos alunos poderiam ser salientes nas analogias dos professores. Tal caso pode ser verificado ao compararmos as analogias entre ímãs e átomos estabelecidas pelos alunos 4 e 6 na entrevista pré-instrução e pela professora 5, comentado anteriormente.

Em relação aos objetivos, foi possível verificar, como proposto por Holyoak e Thagard (1989; 1997; 1992), que eles exerceram influência sobre todos os sub-processos do raciocínio analógico por nós investigados. No caso da maioria dos professores, seu objetivo de facilitar a compreensão dos alunos sobre a existência de forças atrativas entre átomos unidos fez com que, como comentado anteriormente, a maioria deles selecionasse os ímãs como entidade do domínio análogo e estabelecesse combinações entre os domínios com base naquelas forças. Por outro lado, a maioria dos alunos selecionou a mesma entidade com o objetivo de explicar a situação problema da união entre os átomos, o que parece indicar que essa seleção foi influenciada pela necessidade dos alunos de explicar um processo que reconheceram como atrativo. A nosso ver, o mapeamento de relações funcionais pelos alunos também foi guiado por seus objetivos de explicar um processo e

não as próprias entidades do alvo, pois eles não combinaram, em seus mapeamentos, propriedades descritivas dessas entidades.

Nas etapas de inferências (que foram observadas somente para os alunos) e de avaliação, as influências dos objetivos foram demonstradas através das diferentes solicitações da pesquisadora que conduziram a diferentes esclarecimentos por parte dos sujeitos desta pesquisa, especialmente quando solicitados a identificar as limitações de suas analogias. Estes questionamentos, por sua vez, permitiram – como foi observado no caso dos alunos 4, 6 e 9 na entrevista pré-instrução e da Professora 1 – que alguns dos sujeitos investigados identificassem espontaneamente as limitações em suas analogias e, até mesmo, as reformulassem ou reformulassem suas explicações (como ocorreu com os alunos citados), sem que, no entanto, a pesquisadora os tivesse questionado com esta intenção. Podemos especular, a partir dessas observações, que atividades que envolvam a criação de analogias, se elaboradas com o objetivo de promover ações do professor que levem em consideração tais aspectos, podem contribuir para o ensino e aprendizagem em ciências.

Essas considerações diferem do que foi proposto por Gentner (1989) na teoria de mapeamento estrutural, na qual ela reconhece a influência dos objetivos do indivíduo somente na etapa inicial de acesso e na etapa final de avaliação.

Com relação ao modelo de raciocínio analógico de Duit e Wilbers (Duit et al., 1998; Wilbers & Duit, 2001, 2006), concordamos que os mapeamentos analógicos dos alunos se diferem daqueles realizados pelos professores para os mesmos domínios. Porém, não consideramos que estes autores comparem os mesmos processos para esses diferentes sujeitos. Em seu estudo, os domínios a serem comparados pelos alunos foram fornecidos a eles, enquanto em relação aos professores, os autores parecem considerar o estabelecimento das analogias destinadas à situações de ensino. Tais autores utilizaram esses processos (que nós julgamos serem diferentes entre si) para fundamentar as argumentações e proposições de um modelo de raciocínio analógico no qual uma dessas proposições seria a de que os alunos estabelecem as primeiras associações entre os domínios comparados por meio de imagens mentais.

No contexto de nossa pesquisa, em que alunos e professores foram igualmente responsáveis não só pelo sub-processo de mapeamento, mas pelo estabelecimento do raciocínio analógico como um todo, observamos evidências (discutidas na seção anterior) de que essas associações a que os autores remetem se deram via conhecimento saliente.

Acreditamos que o fato de esses autores fornecerem aos alunos imagens referentes às entidades do domínio análogo traz implícita a idéia de que o processo de raciocínio

análogo é um processo meramente interpretativo e que se restringe ao sub-processo de mapeamento. Tal fato restringe, por consequência, a amplitude e a complexidade do raciocínio analógico e retira dele o que consideramos ser a sua principal característica – a criatividade.

IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS E PARA A PESQUISA NA ÁREA DE ENSINO DE CIÊNCIAS

De uma maneira geral, podemos afirmar, a partir do que foi discutido neste trabalho, que o raciocínio analógico dos alunos é guiado pelos seus conhecimentos escolares e cotidianos. Por outro lado, o dos professores, é guiado pelos seus conhecimentos de conteúdo e pedagógico. Assim, eles podem ser representados como nas figuras 45 e 46, respectivamente. A consideração dessas particularidades objetiva orientar nossas discussões sobre as implicações de nossas conclusões no processo de ensino e aprendizagem de ciências, que apresentamos a seguir.

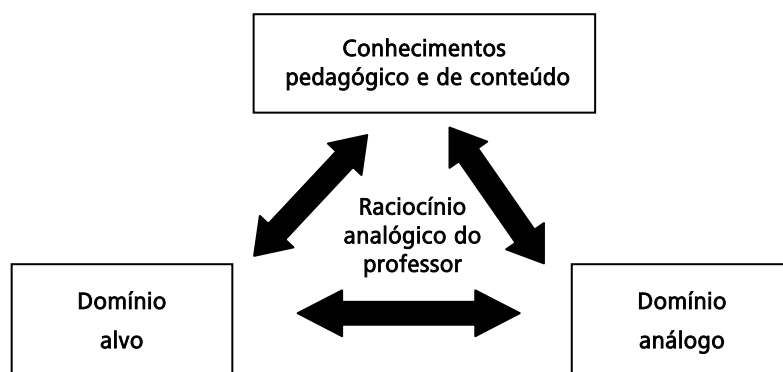


Figura 45. Esquema dos fundamentos da relação analógica estabelecida pelo professor.

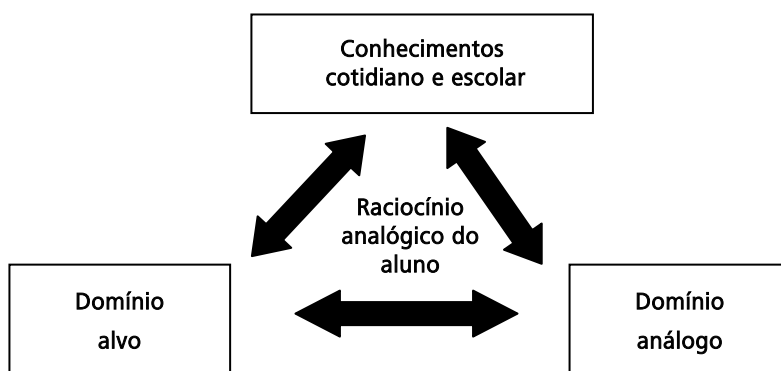


Figura 46. Esquema dos fundamentos da relação analógica estabelecida pelo aluno.

Como afirmamos em concordância com Wilbers e Duit, é possível que a partir do uso tradicional de analogias, no qual os domínios a serem comparados foram fornecidos

pelo professor com o objetivo único de que os alunos identifiquem os mapeamentos adequados (Wilbers & Duit, 2006), estes interpretem os domínios de maneira diferente da esperada, por ignorarem os conceitos científicos e princípios almejados por aquele. Porém, a partir de nossos dados e considerando um contexto no qual os alunos são solicitados a estabelecer suas próprias comparações (inclusive e, principalmente, no que se refere à seleção do domínio análogo), as analogias estabelecidas levam em consideração o conhecimento saliente na estrutura cognitiva daquele aluno, disponível no momento em que ele raciocina analogicamente.

Isso capacita-nos a afirmar que, mesmo que esse conhecimento no qual os alunos se baseiam não esteja completamente formado, ele pode levar a um entendimento mais profundo dos domínios comparados (Pittman, 1999), fornecendo as bases para a construção de relações profundas, fundamentadas no conhecimento científico. Segundo Dagher, (1994, apud Duit, 1991) essa mudança pode ser útil não tanto pela substituição de uma idéia do aluno por outra, mas pelo processo de evolução das idéias iniciais até transformá-las em concepções aceitas cientificamente.

Esse processo, no qual novo conhecimento pode ser gerado, só se torna possível sob a orientação do professor (Dagher, 1995b). Como demonstrado por Gick e Holyoak (1980; 1983) através de uma série de estudos sobre resolução de problemas, a principal melhora no desempenho dos sujeitos ocorreu quando eles foram guiados com relação ao uso do análogo. Além disso, como evidenciado nos resultados desse trabalho e comentado anteriormente, esse processo fornece ao professor meios para acessar o conhecimento saliente do aluno sob o qual poderá fundamentar suas ações. Sendo assim, as comparações estabelecidas pelos alunos (incluindo as comparações de mera aparência e as similaridades literais) podem também servir como uma forma diagnóstica ou formativa de avaliação, permitindo um melhor entendimento sobre “como” os alunos compreendem os novos conceitos, ao invés de simplesmente, “o quê” eles compreendem (Pittman, 1999).

Nesse sentido, a promoção de atividades que permitam que os alunos criem suas próprias analogias e as expressem é uma alternativa que se mostra promissora, pois como qualquer outra habilidade de raciocínio científico, o raciocínio analógico pode ser desenvolvido e, talvez, explicitamente ensinado (Kaufman et al., 1996).

Como destacado por Duit (1991), o objetivo das analogias no ensino de ciências deve ir além do objetivo didático. Elas devem servir como ferramentas heurísticas que permitam fazer previsões e, mais ainda, devem favorecer ao aluno vivenciar o processo de construção de um modelo a partir do qual a aprendizagem de habilidade de raciocínio e

atitudes científicas é tão importante quanto a aprendizagem do modelo curricular que o professor almeja ensinar.

O processo de ensino e aprendizagem via analogia que defendemos aqui, compartilhado também por Wong (1993), é aquele no qual os alunos são agentes no seu processo de construção do conhecimento por meio de uma negociação de significados com o professor, se diferenciando da mera transmissão de conhecimentos previamente elaborados. Esse processo leva em consideração que, ao criar suas próprias analogias, os alunos o fazem na ausência de um conhecimento de conteúdo, o que não ocorre com o professor. Por isso, diante das inúmeras possibilidades de comparações analógicas referentes a um determinado domínio alvo que se abrem para o aluno, o professor assume a importante tarefa de conduzi-lo na avaliação de suas analogias – identificando as similaridades, os aspectos não mapeáveis e as limitações dessas comparações – e de promover meios para que esse aluno possa reformulá-las, ou mesmo estabelecer outras mais adequadas. Deste modo, o raciocínio analógico seria usado de forma a enriquecer, modificar ou reestruturar radicalmente a base de conhecimento do aluno (Vosniadou, 1989).

Conseqüentemente, uma condição fundamental para o êxito de atividades envolvendo a criação de analogias por parte dos alunos é o conhecimento do professor sobre esse modelo. Como evidenciado neste trabalho e em outros – como os de Ferraz e Terrazzan (2002), Treagust, Duit, & Joslin (1992) e Thiele & Treagust (1994) que investigaram analogias elaboradas (ou usadas) por professores – estes demonstraram confundi-las com outras ferramentas didáticas, ignorarem aspectos de seu uso e função no ensino e aprendizagem de ciências, e apresentarem um repertório escasso de boas analogias. Isso aponta, como destacado nesses estudos, para a necessidade de que os cursos de formação de professores levem em consideração a discussão de questões sobre o que são analogias e quais são as suas potencialidades e fraquezas no contexto do ensino de ciências, além de questões sobre a existência de limitações nesses modelos e a importância de sua identificação.

Acrescentamos a isso a necessidade, comprovada em nosso trabalho, de os professores aprimorarem seus conhecimentos salientes. Uma das possíveis vias para isso seria o desenvolvimento de uma compreensão mais ampla sobre os processos de raciocínio analógico, pois somente a partir deste entendimento eles poderão ser capazes de (i) perceber a importância de solicitar que os alunos elaborem suas próprias analogias – e a potencialidade disto em termos de conhecer melhor as idéias dos alunos e poder interferir,

favorecendo a aprendizagem dos mesmos; (ii) entender as dificuldades dos alunos na compreensão de analogias apresentadas por eles ou pelo material instrucional utilizado.

Além disso, acreditamos que a consideração das influências dos conhecimentos salientes disponíveis na estrutura cognitiva dos alunos e dos seus objetivos em resolver situações problema que lhes são apresentadas pode fornecer ao professor subsídios para que ele desenvolva estratégias para facilitar a aprendizagem dos alunos (de conteúdo e de habilidades) por meio das analogias criadas, desenvolvidas e reformuladas pelos próprios alunos.

Aspectos como esses são considerados, por nós, como os pré-requisitos para que professores possam desenvolver plenamente as atividades de criação de analogias por parte de seus alunos e, de maneira mais ampla, para que se tornem capazes de utilizar as analogias não só com a finalidade de detectar o quê os alunos sabem, mas também, e, principalmente, como eles aprendem e atribuem significados.

Nesse sentido, acreditamos que nosso trabalho possa contribuir para área de ensino de ciências e formação inicial e continuada de professores, pois possibilita uma melhor compreensão do raciocínio analógico sob um enfoque criativo, diferente das abordagens comuns em que o papel dos indivíduos se restringe a interpretar relações ao invés de propô-las.

Outro aspecto importante é que, ao reconhecer a importância dos conhecimentos pedagógicos e de conteúdo dos professores, ressaltando suas carências e potencialidades, podemos considerar que este trabalho também contribui para a atribuição de significado à própria prática docente.

A partir do que foi aqui exposto, emergem deste trabalho algumas questões de pesquisa, cuja investigação muito poderá contribuir para a ampliação do conhecimento na área de ensino de ciências e para a formação de professores de ciências. São elas:

- Como a consideração das diferenças e semelhanças nos raciocínios analógicos de professores e alunos pode contribuir para fomentar processos de ensino de ciências mais efetivos e de aprendizagem de ciências mais significativos?
- Quais as implicações do conhecimento dessas diferenças na prática do professor de ciências?
- Como a promoção de atividades desenvolvidas a partir das analogias estabelecidas pelos alunos poderia facilitar a aprendizagem de temas relativos à área de ciências e sobre ciências?
- Quais as formas de se avaliar essa aprendizagem?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Brenner, M. E. (2006). Interviewing in educational research. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of complementary methods in education research* (pp. 357-370). Washington and London: Erlbaum associates.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18, 237-261.
- Carvalho, N. B. (2004). *Concepções de alunos do ensino médio a respeito da analogia do "mar de elétrons" utilizada no ensino de ligação metálica*. Universidade Federal de Minas Gerais. Monografia de Licenciatura, Belo Horizonte.
- Carvalho, N. B., & Justi, R. S. (2005). Papel da analogia do "mar de elétrons" na compreensão do modelo de ligação metálica. *Ensenanza de las Ciencias*, 24 extra.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with student's preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1247.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research methods in education*. London and New York: RoutledgeFalmer.
- Coll, R. K. (2006). The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 65-77). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Cosgrove, M. (1995). A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Dagher, Z. R. (1995a). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 259-270.
- Dagher, Z. R. (1995b). Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Science Education*, 79(3), 295-312.
- Delval, J. (2002). *Introdução à prática do método clínico - descobrindo o pensamento das crianças* (F. Murad, Trans.). Porto Alegre: Artmed.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Duit, R., Roth, W. M., Komorek, M., & Wilbers, J. (1998). Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: toward an integrative perspective on learning in science. *International Journal of Science Education*, 20, 1059-1073.
- Duit, R., Roth, W. M., Komorek, M., & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies between Scylla and Charybdis. *Learning and Instruction*, 11, 283-303.
- Erickson, F. (2006). Definition and analysis of data from videotape: some research procedures and their rationales. In J. L. Green, G. Camilli & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Ferraz, D. F., & Terrazan, E. A. (2002). O uso espontâneo de analogias por professores de biologia: observações da prática pedagógica. *Pesquisa em Educação em Ciências*, 4, 1-15.

- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: a theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155-170.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Holyoak, K. J. (1997). Reasoning and learning by analogy. *American Psychologist*, 52(1), 32-34.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52(1), 45-56.
- Gewandsnajder, F. (2004). A atração gravitacional. In *Ciências: matéria e energia*. (2 ed., pp. 156-167). São Paulo: Ática.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Gilbert, J. (1993). *Models & Modelling in science education*. Hatfield: The Association for Science Education.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1995). *Stretching models to far*. Paper presented at the Annual Conference of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yearny & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219-240). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M., & Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. In J. Glover, R. Ronning & C. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity: Assessment, research and theory*. New York: Plenum Press.
- Greca, I. M. (2006). Algumas metodologias para o estudo de modelos mentais. In F. M. T. d. Santos & I. M. Greca (Eds.), *A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias* (pp. 391-428). Ijuí: Unijuí.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and learning with analogies: friend or foe? In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 11-24). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Holyoak, K. J., Gentner, D., & Kokinov, B. N. (2001). Introduction: the place of analogy in cognition. In K. J. Holyoak, D. Gentner & B. N. Kokinov (Eds.), *The analogical mind: Perspectives from cognitive science* (pp. 1-19). Cambridge, MA: MIT Press.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1989). Analogical mapping by constraint satisfaction. *Cognitive Science*, 13, 295-355.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1997). The analogical mind. *American Psychologist*, 52(1), 35-44.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Analogy and the exercise of creativity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 313-331). Cambridge: Cambridge University Press.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of nature of models in chemistry. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 119-130). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Kaufman, D. R., Patel, V. L., & Magder, S. A. (1996). The explanatory role of spontaneously generated analogies in reasoning about physiological concepts. *International Journal of Science Education*, 18(3), 369-386.

- Lakoff, G. (1987). The importance of categorization. In *Women, fire and dangerous things: what categories reveal about the mind?* (pp. 5-11). California: University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2002). Apresentação à edição brasileira (GEIM, Trans.). In *Metáforas da vida cotidiana*. Campinas: EDUC/Mercado de Letras.
- Lopes, A. (1997). Conhecimento escolar em química: processo de mediação didática da ciência. *Química Nova*, 20, 563-568.
- May, D. B., Hammer, D., & Roy, P. (2006). Children's analogical reasoning in a third-grade science discussion. *Science Education*, 90(2), 316-329.
- Mendonça, P. C. C., Justi, R. S., & Oliveira, M. M. (2006). Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 6, 35-54.
- Monteiro, I. G., & Justi, R. S. (2000). Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 48-79.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Mateo, J., & Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 453-470.
- Piaget, J. (1926). *Os problemas e os métodos* (R. Fiúza, Trans.). Rio de Janeiro: Record.
- Pittman, K. M. (1999). Student-generated analogies: another way of knowing. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 1-22.
- Souza, V. C. A. (2007). *Os Desafios da Energia no Contexto da termoquímica: Modelando uma nova idéia para aquecer o ensino de química*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Taber, K. J. (2003). Mediating mental models of metals: acknowledging the priority of the learner's prior learning. *Science Education*, 87, 732-758.
- Thagard, P. (1992). Analogy, explanation and education. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 537-544.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1991). Using analogies in secondary chemistry teaching. *Australian Science Teachers Journal*, 37, 10-14.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(3), 227-242.
- Treagust, D. F., Duit, R., & Joslin, P. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- Vosniadou, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 413-437). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vosniadou, S. (2002). Mental models in conceptual development. In L. Magnani & N. J. Nersessian (Eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values* (pp. 353-368). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1987). Theories of knowledge restructuring in development. *Review of Educational Research*, 57, 51-67.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S., & Ortony, A. (1989). Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Wilbers, J., & Duit, R. (2001). On the micro-structure of analogical reasoning: the case of understanding chaotic systems. In H. Behrendt, H. Dahncke, W. G. R. Duit, M.

- Komorek, A. Kross & P. Reiska (Eds.), *Research in Science Education - Past, Present and Future* (pp. 205-210). The Netherlands: Kluwer Academic.
- Wilbers, J., & Duit, R. (2006). Post-festum and heuristic analogies. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 37-49). Dordrecht, The Netherlands: 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.
- Zeitoun, H. H. (1984). Teaching scientific analogies: a proposed model. *Research in Science & Technological Education*, 2(2), 107-125.

ANEXOS

ANEXO 1 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO À DIREÇÃO DA ESCOLA

Belo Horizonte, 02 de junho de 2007.

Ilmo(a) Sr(a),

Nome

D.D. Diretor da Escola X

Prezado(a) sr(a),

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de Mestrado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de junho de 2007. Esta pesquisa tem o título de "O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos" e terá como um de seus objetivos investigar as possíveis maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem analogias e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de ciências.

Serão realizadas entrevistas individuais nas quais os alunos serão solicitados expressar suas analogias (comparações estabelecidas entre algo que é familiar e algo que é estranho ao aluno) sobre o tema ligações químicas. Eles serão solicitados a expressá-las verbalmente, registrá-las em papel e, quando for relevante, também utilizar-se de bolinhas de isopor e/ou massinhas de modelar. Nesse sentido, não há nenhum risco para os alunos decorrente da participação nesta pesquisa.

Para a realização de parte da pesquisa, as aulas de introdução ao tema serão filmadas (a fim de registrar as discussões entre os alunos e deles com a professora) sem nenhum comprometimento das atividades regulares desenvolvidas na sala de aula. Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, do(a) aluno(a) revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Portanto, nesta etapa, todos os alunos participarão das atividades. Entretanto, caso um determinado aluno, por algum motivo, não queira participar da pesquisa, seus dados não serão analisados.

Alguns professores de Ciências (Química e Física) dessa instituição também serão convidados a participar dessa pesquisa, concedendo entrevistas semelhantes àquelas que serão realizadas com os alunos. Também nesses casos serão mantidos os mesmos procedimentos de sigilo.

Caso seja concedida a autorização para a realização da pesquisa, os(as) professores(as), os alunos e seus responsáveis receberão o "Termo de Consentimento Livre e Esclarecido". Nesses documentos, eles serão explicados sobre os objetivos da pesquisa e sobre seus aspectos metodológicos e serão solicitados a assinar uma autorização para a utilização dos dados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que uma das cópias da autorização em anexo seja preenchida e devolvida assinada.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3499.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3499.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profª Dra. Rosária S. Justi
Pesquisadora responsável

Nilmara Braga Mozzer
Mestranda

Autorização

Após ter sido esclarecido(a) sobre os propósitos e condições de realização da pesquisa “O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos”, autorizo o desenvolvimento da mesma com alunos e professores deste estabelecimento de ensino.

Nome

Diretor(a) da *Escola X*

ANEXO 2 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO ALUNO

Prezado(a) aluno(a) da turma *W*,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado, com sua participação, algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de Mestrado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de junho de 2007. Esta pesquisa tem o título de “O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos” e terá como um de seus objetivos investigar as possíveis maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem analogias e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de ciências.

Serão realizadas entrevistas individuais nas quais você será solicitado a expressar suas idéias sobre um determinado tema ligado às Ciências. Você será solicitado também a expressá-las verbalmente ou com auxílio de materiais que poderão ser disponibilizados. Nesse sentido, não há nenhum risco para você decorrente da sua participação nesta pesquisa.

Para a realização de parte da pesquisa, as aulas de introdução ao tema serão filmadas (a fim de registrar as discussões entre os alunos e deles com a professora) sem nenhum comprometimento das atividades regulares desenvolvidas na sala de aula. Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, do(a) aluno(a) e revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Portanto, nesta etapa, todos os alunos participarão das atividades. Entretanto, caso você, por algum motivo, não queira participar da pesquisa, seus dados não serão analisados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinado. Informo, também, que você poderá retirar este consentimento a qualquer momento e que não terá nenhum prejuízo por isso.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3499.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3499.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa Dra. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

Nilmara Braga Mozzer

Mestranda

Consentimento de Participação

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa "O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos", seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química, nas entrevistas das quais participarei e do material escrito por mim produzido nessas para os fins da pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): _____

Assinatura: _____

C.I.: _____

ANEXO 3 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO RESPONSÁVEL PELO ALUNO

Prezados pais ou responsáveis pelos alunos da turma W,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado, com sua participação, algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de Mestrado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de junho de 2007. Esta pesquisa tem o título de "O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos" e terá como um de seus objetivos investigar as possíveis maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem analogias e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de ciências.

Serão realizadas entrevistas individuais nas quais o aluno será solicitado a expressar suas idéias sobre um determinado tema ligado às Ciências. Ele será solicitado também a expressá-las verbalmente ou com auxílio de materiais que poderão ser disponibilizados. Nesse sentido, não há nenhum risco para o aluno decorrente da participação nesta pesquisa.

Para a realização de parte da pesquisa, as aulas de introdução ao tema serão filmadas (a fim de registrar as discussões entre os alunos e deles com a professora) sem nenhum comprometimento das atividades regulares desenvolvidas na sala de aula. Todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, do(a) aluno(a) e revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. Portanto, nesta etapa, todos os alunos participarão das atividades. Entretanto, caso o(a) aluno(a), por algum motivo, não queira participar da pesquisa, seus dados não serão analisados.

Visando atender aos princípios da ética na pesquisa, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinado. Informo, também, que

você poderá retirar este consentimento a qualquer momento e que o(a) aluno(a) não terá nenhum prejuízo por isso.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3499.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, que também poderá ser consultado livremente em qualquer eventualidade no endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG, ou pelo telefone 3499.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa Dra. Rosária S. Justi
Pesquisadora responsável

Nilmara Braga Mozzer
Mestranda

Consentimento de Participação

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa "O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos", seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas aulas de Química e nas entrevistas e do material escrito produzido nessas aulas pelo(a) aluno(a) abaixo identificado(a) para os fins da pesquisa.

Nome do(a) aluno(a): _____

Nome do(a) responsável: _____

Assinatura: _____

C.I.: _____

ANEXO 4 - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DESTINADO AO PROFESSOR

Prezado(a) professor(a) Z,

Uma das maneiras de contribuirmos para que a Educação possa melhorar, para que os alunos possam aprender mais e melhor, é através da realização de pesquisas que envolvem os processos de ensino e aprendizagem. Na Universidade Federal de Minas Gerais temos realizado, com sua participação, algumas pesquisas na área de ensino e aprendizagem de Ciências cujos resultados têm sido discutidos com outros professores dos ensinos fundamental e médio e contribuído para que eles modifiquem suas práticas docentes e para que o aprendizado de seus alunos melhore.

Uma dessas pesquisas será realizada por minha aluna de Mestrado Nilmara Braga Mozzer a partir do mês de junho de 2007. Esta pesquisa tem o título de "O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos" e terá como um de seus objetivos investigar as possíveis maneiras pelas quais professores e alunos estabelecem analogias e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de ciências.

Essa pesquisa será realizada a partir de entrevistas com professores Ciências (Química e Física) e alunos. Para tanto, as entrevistas serão filmadas e gravadas em áudio e o material escrito produzido pelos professores e alunos será reproduzido. Informo que todo este material será utilizado unicamente para subsidiar o estudo em questão, não sendo a identidade da escola, sua e dos alunos revelada em nenhuma instância de divulgação dos resultados. As imagens não serão exibidas em público assegurando, assim, a privacidade e o sigilo da sua identidade dos alunos. Como um dos sujeitos participantes, você poderá ter acesso aos seus dados a qualquer instante.

Para que a pesquisa possa ser realizada, solicito que você preencha e devolva uma das cópias deste termo de consentimento assinado. Se, por algum motivo, você decidir não participar mais da pesquisa, poderá retirar este consentimento.

Caso ainda existam dúvidas a respeito desta pesquisa, por favor, entre em contato comigo pelo telefone 3499.5694 ou no endereço: Departamento de Química da UFMG, Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte.

Finalmente, informo que esta pesquisa foi analisada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG, ao qual você poderá recorrer livremente em qualquer eventualidade no

endereço Unidade Administrativa II, sala 2005, Campus da UFMG ou pelo telefone 3499.4592.

Desde já, agradeço sua colaboração para a realização desta pesquisa.

Atenciosamente,

Profa Dra. Rosária S. Justi

Pesquisadora responsável

Nilmara Braga Mozzer

Mestranda

Consentimento de Participação

Declaro que estou suficientemente esclarecido(a) sobre a pesquisa “O estabelecimento de raciocínios analógicos por professores e alunos”, seus objetivos e metodologia e que concordo com a utilização das imagens filmadas nas entrevistas das quais participarei e do material escrito por mim produzido nessas para os fins da pesquisa.

Assinatura: _____

CI: _____

ANEXO 5 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O ALUNO – ENTREVISTA PRÉ-INSTRUÇÃO**➤ Situar o aluno sobre:**

- O objetivo geral da pesquisa;
- O papel dele na pesquisa;
- A importância do sigilo com relação à entrevista para não influenciar a entrevista dos colegas;
- A importância de ele tentar explicar da maneira mais detalhada e fiel possível aquilo que ele realmente pensa, sem se preocupar em dizer o “certo” ou “errado”.

➤ Sondagem inicial:

- É a primeira vez que você estuda Química?
- Você só estuda Química aqui no Colégio ou faz algum cursinho preparatório (como Orville Carneiro) em que a disciplina também é estudada?

➤ Introdução:

- Qual a opinião que você tem sobre a Química?

➤ Direcionamento:

- Para você, como é o átomo?
- Uma das maneiras de se referir à água na Ciência é como H₂O. O que isso significa para você? Tente detalhar o máximo possível.
 - Como isso começou?
- Caso nada seja dito sobre a ligação entre os átomos, proceder da seguinte maneira:
 - E se eu lhe dissesse que os átomos H e O estão unidos em cada unidade H₂O. Como você entende isso?
- Muitas vezes quando queremos explicar algo podemos utilizar comparações. Por exemplo, eu posso dizer assim: “Nossos dedos são como pinças”.

Agora tente explicar, usando uma comparação com algo que você conhece, *como os átomos se unem?*

ANEXO 6 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O ALUNO – ENTREVISTA PÓS-INSTRUÇÃO**➤ Relembrar o aluno sobre:**

- A importância de ele tentar explicar da maneira mais detalhada e fiel possível ao que ele realmente pensa, sem se preocupar em dizer o “certo” ou “errado”.

➤ Direcionamento:

- Em nossa entrevista anterior, eu disse a você que uma das maneiras de se referir à água na Ciência é como H_2O e lhe perguntei o que isso significava para você, lembra? Eu gostaria agora de passar alguns trechos daquela entrevista e lhe fazer algumas perguntas.
- O que você pensa sobre sua explicação para o significado de H_2O ?
- O que você pensa sobre sua explicação sobre *como os átomos se unem*?
- O que você pensa sobre a comparação que você fez para explicar *como os átomos se unem*?
 - Se o aluno discordar da sua comparação anterior:
 - Que nova comparação você faria para facilitar a minha compreensão sobre *como os átomos se unem*?
 - Se o aluno concordar parcialmente com sua comparação anterior:
 - O quê você acha que não está legal em sua comparação? O quê você mudaria?
 - Se o aluno concordar completamente com sua comparação anterior:
 - Por que você acha que ela dá conta de facilitar minha compreensão sobre *como os átomos se unem*? Hoje, você acha que daria conta de fazer uma nova comparação para explicar *como os átomos se unem*?
 - Se o aluno estabelecer uma nova comparação (ou reformulação):
 - De acordo com essa sua nova comparação (ou reformulação), como você explicaria o *fato de os átomos se manterem unidos*?

ANEXO 7 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM OS PROFESSORES DE QUÍMICA

- **Situar o professor sobre:**
 - O objetivo geral da pesquisa;
 - O papel dele na pesquisa;
 - A importância do sigilo com relação à entrevista para não influenciar a entrevista dos colegas;
 - A importância de ele tentar explicar da maneira mais detalhada e fiel possível àquilo que ele realmente pensa.

- **Sondagem inicial:**
 - Nome/Idade
 - Onde leciona?
 - Solicitar que fale um pouco sobre sua experiência profissional (tempo, locais onde já trabalhou)

- **Direcionamento:**
 - Uma das maneiras de se referir à água na Ciência é como H₂O. Como você explicaria para um aluno com conhecimento sobre modelos atômicos, mas que ainda não estudou ligação química, o significado de H₂O?
 - É comum utilizarmos comparações quando queremos explicar conteúdos complexos e abstratos. Que comparação(ões) você poderia utilizar para explicar para esse aluno a união de dois átomos quaisquer?
 - Por que você acha que sua comparação representa bem a união entre os átomos?
 - Por que você acha que ele entenderia a união entre os átomos com estas comparações?
 - Você acha que ele poderia entender algo diferente daquilo que você espera? O quê, por exemplo?

OBS: Caso o professor mencione “*analogia*”, verificar o que ele entende por esse termo.

ANEXO 8 – PROTOCOLO DE ENTREVISTA COM O PROFESSOR DE FÍSICA**➤ Situar o professor sobre:**

- O objetivo geral da pesquisa;
- O papel dele na pesquisa.

➤ Sondagem inicial:

- Nome/Idade
- Onde leciona?
- Solicitar que fale um pouco sobre sua experiência profissional (tempo, locais onde já trabalhou)

➤ Direcionamento:*Parte 1*

- Você trabalha o tema Magnetismo na 8ª série? Em qual período do ano letivo?
- Quais são as noções trabalhadas?
- Ao ensinar esse conteúdo, você faz comparações? Quais, por exemplo?

Parte 2

- Você trabalha o tema atração gravitacional? Em qual período do ano letivo?
- Quais são as noções trabalhadas?
- Ao ensinar esse conteúdo, você faz comparações? Quais?

Parte 3

- Ao trabalhar com esses temas, quais você percebe que são as dificuldades mais comuns dos alunos?

Parte 4

- Em algum dos conteúdos trabalhados durante o ano, você menciona algo sobre ligação entre os átomos?
- Em caso afirmativo:
 - Em qual conteúdo? Em qual período do ano letivo?
 - Como isso é mencionado?