

Análise dos Questionamentos do Professor em Atividades Fundamentadas em Modelagem Analógica

Analysis the Role of the Teacher's Questions in Activities based on Analog Modelling

Gabriela Mara de Paiva Campos Andrade, Brasil
Nilmara Braga Mozzer, Brasil

Investigamos o papel dos questionamentos de uma professora de Química em uma sequência de atividades sobre o tema equilíbrio químico, fundamentadas na modelagem analógica. Nessas atividades, os estudantes trabalham de forma colaborativa e guiados pelo professor na elaboração, crítica e revisão de modelos e analogias para explicar o comportamento de sistemas em situação de equilíbrio químico. O desenvolvimento das atividades ocorreu em turmas do segundo ano do ensino médio de uma escola estadual de uma pequena cidade do estado de Minas Gerais. As aulas foram registradas em vídeo e transcritas na íntegra. Selecionamos dois grupos com quatro estudantes cada para realizar a análise dos dados com base da tipologia de questionamentos proposta por Chin (2007). Buscamos categorizar os tipos de questionamentos realizados pela professora, bem como a sua frequência, e correlacioná-los com cada uma das etapas da modelagem analógica na busca por investigar a influência desses questionamentos no desenvolvimento dos conhecimentos dos estudantes. Nossos resultados evidenciaram que os questionamentos da professora foram os principais responsáveis por minimizar as dificuldades dos estudantes em cada etapa da modelagem analógica, garantindo que as interações que eles estabeleceram entre si, com o professor e com as novas informações, contribuíssem para a construção de modelos e analogias gradualmente mais coerentes com o conhecimento científico.

Palavras-chave: Questionamentos do professor; Modelagem Analógica; Equilíbrio químico.

We investigated the role of the chemistry teacher's questions in a sequence of activities on the topic chemical equilibrium, based on analogical modelling. In these activities, students work collaboratively and guided by the teacher in the drafting, reviewing and revisioning of models and analogies to explain the behavior of systems in chemical equilibrium. These activities took place in sophomore classes at a public high school in a small town in Minas Gerais state, placed in Brazilian Southeast region. Classes were video recorded and transcribed

in full. We selected two groups with four students each group to perform data analysis based on the type of questions proposed by Chin (2007). We sought to categorize the types of inquiries carried out by the teacher, as well as their frequency, and to correlate them with each of the stages of analogical modeling in an attempt to investigate the influence of these questions on the development of students' knowledge. Our results showed that the teacher's questions were the main factor responsible for minimizing the difficulties of students at every stage the analogical modelling, ensuring that the interactions that they had established among themselves, with the teacher and with the new information, contributed to the construction of models and analogies gradually more consistent with scientific knowledge.

Keywords: Teacher's questions; Analogical Modelling; Chemical equilibrium.

Introdução

A interação entre os sujeitos de aprendizagem dentro das salas de aulas é um aspecto bem discutido na literatura por diferentes autores. Alguns desses estudos, como de Chin (2007), apontam que essa interação é mediada pela linguagem e que esta é responsável pela construção dos significados em salas de aula regulares.

Nesse sentido, Cazden (2001) afirma que muitas das interações são iniciadas pelos questionamentos dos professores. Portanto, estudar tais questionamentos se mostra relevante quando se almeja uma melhor compreensão dos processos de ensino e aprendizagem que ocorrem nesses contextos.

O contexto investigado neste trabalho é do ensino de Ciências fundamentado na *modelagem analógica*: um processo guiado de elaboração, crítica e refino de modelos e analogias. Atividades desenvolvidas sob essa fundamentação têm evidenciado um favorecimento da construção do conhecimento científico pelos estudantes e do desenvolvimento de habilidades como: criticidade, criatividade e raciocínio lógico na elaboração e reelaboração dos seus modelos e analogias, além de uma interação efetiva entre os sujeitos envolvidos (MOZZER; JUSTI, 2009; MOZZER, 2013).

Devido ao potencial engajador dessas atividades e à atuação do professor como mediador dos significados construídos pelos estudantes, os questionamentos do professor nessas atividades podem ser variados em complexidade e objetivos e são merecedores de atenção. Isso justifica nosso interesse em analisar os questionamentos de uma professora na condução de uma sequência de ensino sobre equilíbrio químico fundamentada na modelagem analógica.

Fundamentação teórica e plano de fundo

A aprendizagem em Ciências é um processo social que implica em aprender a falar a linguagem científica e em apropriar-se desta para desenvolver habilidades como: escrita, oralidade, raciocínio e resolução de problemas, tanto durante as aulas de Ciências quanto na vida cotidiana. O domínio da linguagem científica pode proporcionar às

peças a possibilidade de se tornarem membros ativos de uma comunidade que compartilha das mesmas ideias (LEMKE, 1997).

Nessa perspectiva de aprendizagem de Ciências, os processos e as interações envolvidos na construção de significados são mediados pela linguagem e esta permeia as interações que o professor estabelece com os estudantes como uma fonte primária de informações (CHIN, 2007). Daí deriva um dos papéis fundamentais do professor/tutor no ensino de Ciências.

Cazden (2001) ressalta a necessidade de se analisar as relações entre as interações iniciadas pelos professores por meio de questionamentos e, assim como o processo de aprendizagem dos estudantes, justificando que esses questionamentos possibilitam tornar a aprendizagem um processo interpretativo, envolvendo construções individuais e colaborações sociais. Isso sugere que os questionamentos dos professores sejam componentes chave no discurso da sala de aula, sendo uma ferramenta com grande potencial para auxiliar a atribuição de significados na construção do conhecimento científico.

No ensino de Ciências, devido à relevância das interações discursivas em geral, e dos questionamentos dos professores em particular, diferentes autores se dedicam a estudá-las, o que tem trazido importantes contribuições para o campo. Lemke (1997), por exemplo, propõe uma estrutura para análise do discurso em salas de aula de Ciências conhecida como “diálogo triádico”. Nesta, o discurso do professor consiste tipicamente em três movimentos: a *iniciação* (geralmente por meio de uma pergunta do professor); a *resposta do aluno*; e a *avaliação do professor* (a qual não é opcional, sendo positiva ou negativa). Essa estrutura é conhecida na literatura como “IRE” (*initiation-response-evaluation*) ou, em português, “IRA” (iniciação-resposta-avaliação). O próprio autor ressalta que essa, como qualquer outra estrutura de análise de discurso proposta, deve se adequar à estratégia utilizada em sala de aula para não se tornar engessada e, como tal, incapaz de refletir a dinâmica das interações que ocorrem nesse contexto.

Lemke (1997) afirma também que em interações do tipo IRE, os estudantes usam a linguagem científica ao ler e ouvir, a utilizam de maneira limitada nos momentos de expressão por meio da fala ou de maneira concreta (por exemplo, através da escrita, de desenhos e de alguns modelos). O autor adverte que essa deficiência pode comprometer o desenvolvimento de habilidades como argumentação, raciocínio crítico e oralidade científica. Portanto, conhecer mais sobre as interações discursivas pode auxiliar professores e pesquisadores na proposição e no desenvolvimento de intervenções mais eficazes em salas de aula.

Mortimer e Scott (2002) ampliam os pontos a serem estudados no discurso em sala de aula, sugerindo uma análise baseada na dinâmica das interações e no uso da linguagem nesses contextos. Essa análise é composta por cinco aspectos inter-relacionados: as intenções do professor; o conteúdo do discurso; a abordagem comunicativa; os padrões de interação; e a interação do professor.

Dentre esses aspectos, destacamos a ampliação da caracterização do padrão de

interação de IRE, para I-R-P-R-P ou I-R-F-R-F, onde P significa uma ação discursiva de permitir o prosseguimento da fala do estudante e F significa um *feedback* para que o estudante elabore um pouco mais sua fala. Em ambos os casos, o professor tem a possibilidade de explorar mais as ideias dos estudantes, possibilitando que estes as exponham e incentivando-os a argumentar e justificar suas ideias. Esses aspectos da proposta de análise do discurso em sala de aula de Mortimer e Scott refletem um foco na construção partilhada de conhecimento científico por professores e estudantes.

Nessa perspectiva de co-construção de conhecimentos em salas de aula, Cazden (2001) descreve quatro tipos de estratégias de compreensão propostas por Palincsar¹ (1986 apud Cazden, 2001) para serem utilizadas por professores como dispositivos para monitorar e guiar a compreensão dos estudantes: o *questionamento*, consiste em uma pergunta feita pelo professor, com o objetivo de estabelecer uma discussão com os estudantes sobre o tópico estudado, a qual requer deles a compreensão de ideias chave; o *esclarecimento*, usado para solucionar problemas de entendimento, por exemplo, solicitando informações/explicações ou sobre inferências estabelecidas pelo estudante; o *resumo*, o professor sintetiza o que foi aprendido com o objetivo de preparar o estudante para a próxima etapa de atribuição de significados; a *previsão*, o professor pode fazer ou pedir questões para prever o que irá acontecer depois.

Nessa tarefa de co-construção de significados em sala de aula, Cazden (2001) salienta que os questionamentos do professor podem, de maneira geral, assumir os papéis de auxiliar e/ou avaliar a aprendizagem do estudante. Nesse sentido, o autor considera que tais questionamentos se diferem de maneira crucial no que diz respeito a sua finalidade: obter uma resposta específica e auxiliar a compreensão conceitual do estudante.

Além dos papéis de auxiliar e avaliar a aprendizagem, atribuídos por Cazden (2001) aos questionamentos dos professores, outros são destacados por diferentes autores da área do ensino de Ciências, como: dialogar ou incentivar o estudante a se expressar (CHIN, 2007), ajudar o estudante a construir conhecimento científico (CLEMENT, 2008), favorecer uma formação crítica; propiciar o engajamento cognitivo dos estudantes (SMART; MARSHALL, 2013), auxiliar no desenvolvimento de habilidades como o raciocínio (HARRIS; PHILLIPS; PENUEL, 2012).

Diante das potencialidades desses questionamentos e considerando que o conhecimento científico é construído nas interações sociais que ocorrem a todo momento em sala de aula, Chin (2007) propôs, a partir de uma análise do discurso em salas de aula de Ciências, uma tipologia para os questionamentos de professores que, de alguma forma, estimularam o pensamento produtivo dos estudantes. Nessa categorização, a autora levou em consideração os aspectos que Carlsen (1991, apud CHIN, 2007) julga essenciais para caracterizar os questionamentos como interações sócio linguísticas: o *contexto das perguntas*; o *conteúdo das perguntas*; e *as respostas e reações às perguntas*.

1 Estudos realizados por um grupo (pesquisadoras e professoras), sobre um programa de alfabetização, realizado com pequenos grupos (ReciprocalTeaching) de estudantes mais velhos que possuíam dificuldade na leitura e compreensão dos textos.

Quatro categorias foram propostas por Chin (2007): *questionamento socrático* (incentiva a fala dos estudantes a partir de perguntas que guiam o pensamento deles); *tapeçaria semântica* (ajuda os estudantes a entrelaçar ideias diferentes e conceitos abstratos em um quadro conceitual coerente); *enquadramento* (uso de perguntas para enquadrar/situar um problema, uma questão ou um tema de maneira a estruturar a discussão que se segue); *quebra-cabeça verbal* (concentra-se na utilização de terminologia científica, uso de palavras-chave e frases na formulação de declarações proposicionais integradas). Uma versão mais detalhada dessas categorias e suas subcategorias é apresentada na seção “Metodologia” deste trabalho.

O caráter amplo da abordagem dos questionamentos proposta por Chin (2007) reflete bem as diferenças e diversidade das interações que necessitam ser vivenciadas quando se almeja engajar estudantes com diferentes experiências e conhecimentos prévios na construção de conhecimentos científicos. Por isso, decidimos utilizar essas categorias para analisar os questionamentos dos professores em atividades fundamentadas em modelagem analógica, uma vez que essas podem propiciar ricas oportunidades de interações entre estudantes e destes com o professor em salas de aula de Ciências.

Ensino Fundamentado em Modelagem Analógica

Cientistas representam o mundo para si e para os outros por meio de modelos² (GIERE, 1988). Nesse processo de representação, os modelos elaborados e expressos são também discutidos e avaliados na comunidade científica e, por isso, podem ser considerados as principais ferramentas de produção de conhecimento científico e um dos principais produtos da ciência (MORRISON; MORGAN, 1999; NERSESSIAN, 1999).

Justi e Gilbert (2002), propuseram um diagrama nomeado “Modelo de Modelagem”, na tentativa de caracterizar o complexo processo da modelagem científica, o qual envolve ciclos recorrentes de *produção, expressão, testes* (empíricos e/ou mentais) e *avaliação* de modelos.

As etapas da modelagem são não lineares, dinâmicas e interdependentes, como representado pelo tetraedro da figura 1, uma versão simplificada do Diagrama Modelo de Modelagem proposto por Justi e Gilbert (2002).

Esse diagrama tem sido utilizado para estruturar o ‘Ensino Fundamentado em Modelagem’, caracterizado pela proposição de atividades colaborativas de construção, validação e utilização de modelos, análogas àquelas vivenciadas pelos cientistas na construção da ciência (JUSTI, 2006; 2009).

Mozzer e Justi (2009) buscaram conjugar a modelagem e a elaboração, crítica e refino de analogias pelos próprios estudantes em um processo que denominaram *Modelagem Analógica*. Nesse contexto, as analogias são entendidas como comparações

2 Modelos são representações parciais de entidades (eventos, processos ou ideias), concebidos com alguma finalidade específica (por exemplo, permitir que explicações e previsões sejam elaboradas no processo de construção da ciência; facilitar a comunicação de ideia entre cientistas etc.) (GILBERT; BOULTER; ELMER, 2000).

de *relações* entre um domínio conhecido (análogo) e outro desconhecido ou pouco conhecido (alvo) (GENTNER, 1989).

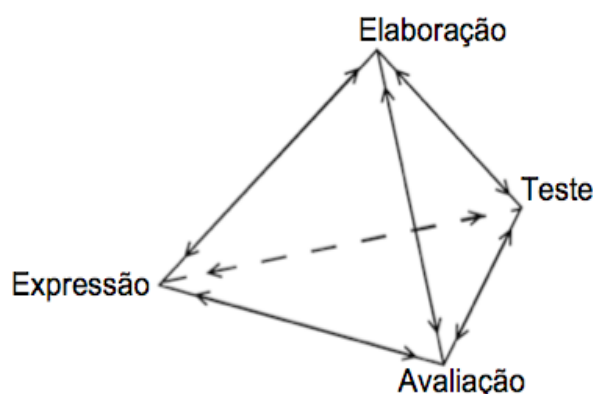


Figura 1. Versão simplificada do Diagrama do modelo de modelagem (JUSTI, 2010, p.95).

De maneira geral, a modelagem analógica se constitui das seguintes etapas:

- *Elaboração*: definir os objetivos da analogia - o que a analogia pretende descrever, explicar ou prever; ter experiências com o domínio alvo - obter informações iniciais sobre a entidade a ser modelada; selecionar a origem - os aspectos da realidade usados para descrever o alvo; e elaborar o modelo mental - início do estabelecimento das relações analógicas com o alvo.
- *Expressão*: expressar verbalmente a analogia criada. Nesta etapa, tal expressão ocorre posteriormente à expressão (material, visual, matemática ou verbal) do modelo criado pelo estudante, o qual irá embasar a comparação.
- *Teste*: realizar testes mentais das relações analógicas estabelecidas entre os domínios análogo e alvo e das diferenças³ entre eles. Se nessa etapa a analogia falhar, ou seja, as diferenças entre os domínios superarem as relações de similaridade que eles estabelecem, os estudantes têm de reformulá-la ou propor uma outra analogia.
- *Avaliação*: identificar quais aspectos do análogo e do alvo comparados podem e quais não podem ser mapeados (limitações da analogia) e os casos em que a analogia se aplica (abrangência da analogia).

As atividades de ensino fundamentadas na modelagem (JUSTI; GILBERT, 2002) e na modelagem analógica (MOZZER; JUSTI, 2009) são propostas para serem desenvolvidas com estudantes trabalhando em pequenos grupos.

Nestes ocorre uma constante negociação de ideias e significados pelos estudantes e destes com o professor, na tentativa de se chegar a modelos e analogias que contemplem as ideias consensuais do grupo. Os modelos e analogias consensuais de cada grupo são socializados com toda a turma e a coerência das ideias, avaliada pelos integrantes

³ As diferenças, também chamadas limitações de uma analogia, são aspectos do análogo e do alvo que não podem ser colocados em correspondência (processo conhecido como mapeamento) (MOZZER; JUSTI, 2015).

dos demais grupos. Nesse processo, modelos e analogias podem ser modificados ou até abandonados (e novos propostos) sob a influência das ideias que os estudantes consideram mais plausíveis.

Podemos afirmar, portanto, que a avaliação em atividades de ensino fundamentadas em modelagem na perspectiva desses autores ocorre de uma maneira bem diferente da proposta do diálogo triádico IRE de Lemke (1997). Nessas atividades, os estudantes não são avaliados quanto à correção de suas ideias, mas a partir da coerência das mesmas em explicar a entidade modelada. Além disso, eles são incentivados pelo professor a avaliar suas próprias ideias e a de seus pares a partir desse mesmo critério.

Pelas características das atividades de ensino fundamentadas na modelagem descritas aqui, acreditamos que elas podem proporcionar um envolvimento dos estudantes com seus pares, favorecendo a troca de experiências entre eles. Nesse processo de interação social, os estudantes podem, gradativamente, ser introduzidos em uma comunidade de pessoas que *falam* ciência (LEMKE, 1997).

Lemke (1997) também aponta que aprender a *falar* cientificamente pode ser mais humanizado, ressaltando que os estudantes são mais atentos a uma linguagem que lhes é mais familiar e acessível. Diante desse ponto de vista, podemos supor que ao possibilitarmos que os estudantes se expressem por meio de suas comparações, ou seja, a partir de um domínio do conhecimento que lhes é familiar na tentativa de explicar o não familiar e as avaliem, aumentamos as chances de introduzi-los, aos poucos, nesse *falar* científico. Isto nos parece mais dialógico do que avaliá-los a todo momento com base em uma linguagem que eles ainda não dominam e, às vezes, até tenham receio de utilizar.

Sequências de ensino fundamentadas na modelagem analógica têm sido desenvolvidas e investigadas pelas autoras e seus colaboradores em diferentes contextos de ensino (MOZZER; JUSTI, 2009; MOZZER, 2013; SILVA; MOZZER, 2015). Os resultados desses estudos têm evidenciado que elas podem contribuir para a construção de conhecimentos coerentes com os científicos ao engajar os estudantes em um processo que requer deles criatividade, raciocínio e criticidade na elaboração de seus modelos e analogias.

Nessas sequências, o professor desempenha o papel de guiar os estudantes nas diferentes etapas da modelagem analógica, discutindo e negociando significados a partir dos modelos e analogias propostos por eles para explicar a entidade modelada. Por essa natureza, tais sequências de ensino são propulsoras da ocorrência de questionamentos dos professores.

Alguns estudos como os de Clement e seus colaboradores (CLEMENT, 2008; NÚÑEZ-OVIEDO; CLEMENT, 2008; REA-RAMIREZ; NÚÑEZ-OVIEDO, 2008), sinalizam a relevância desses questionamentos em atividades de modelagem.

Nesses trabalhos, os autores buscam relacionar os questionamentos discrepantes⁴ realizados pelo professor e o processo de construção de modelos. Para Clement

4 Questionamentos que colocam o estudante diante de uma ideia ou conceito em contraste com uma crença manifestada por aquele. Geralmente são questões para as quais o estudante não encontra resposta imediata.

(2008) os questionamentos discrepantes surgem no momento em que o estudante testa mentalmente seu modelo. Nos casos em que este falha, o estudante experimenta certa insatisfação e percebe que seu modelo necessita ser modificado. Quando o estudante apresenta dificuldade em modificar o seu modelo, o professor passa a fazer questionamentos mais direcionados no sentido de auxiliá-lo no processo de modificação do seu modelo.

A nosso ver, embora os trabalhos de Clement e de seus colaboradores sejam relevantes por chamar a atenção de pesquisadores para a necessidade de estudos sobre os questionamentos dos professores em atividades de modelagem, seu foco nos questionamentos discrepantes não traduz a riqueza das interações estabelecidas entre professores e estudantes nos processos de construção social de conhecimentos que permeiam a modelagem. Essa riqueza nos pareceu melhor representada pela tipologia proposta por Chin (2007) para os diferentes questionamentos dos professores em salas de aula de Ciências.

Sequência de ensino e alvo desse estudo

A sequência de ensino consiste de quatro atividades fundamentadas na Modelagem Analógica que têm como objetivos familiarizar os estudantes com as analogias e diferenciá-las de outras comparações, além de trabalhar aspectos qualitativos do equilíbrio químico, como: reversibilidade; coexistência de reagentes e produtos e dinamicidade.

As atividades da sequência foram desenvolvidas por Silva (2015), com base no trabalho de Maia (2006) e são descritas de maneira sucinta a seguir.

Na *atividade introdutória*, são apresentados um slogan de uma marca de roupa brasileira⁵ e transcrições de vídeos que contém vários tipos de comparações, como de mera aparência⁶, similaridade literal⁷ e analogias. Nas questões da atividade são explicitadas as relações de domínios análogos e alvos e discutidas as diferenças entre as comparações.

A *segunda atividade* consiste na apresentação de um vídeo⁸ que contém um experimento no qual observamos a reversibilidade das reações químicas no sistema gasoso tetróxido de dinitrogênio (N_2O_4)/dióxido de nitrogênio (NO_2).

No vídeo, os tubos contendo esses gases, são colocados sob resfriamento e aquecimento. Nessa atividade o estudante é solicitado a elaborar e expressar modelos e analogias para explicar o comportamento desse sistema. A equação que representa o equilíbrio do sistema é apresentada aos estudantes, e as evidências relacionadas à mudança de coloração são discutidas.

5 Trata-se do slogan “Malwee® gostosa como abraço”.

6 Comparação na qual apenas atributos de objetos (características físicas como: cor, forma, tamanho etc.) são colocadas em correspondências (GENTNER, 1989).

7 Comparação na qual ambos, relações e atributos de objetos, são colocados em correspondências (GENTNER, 1989).

8 Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=tlGrBcgANSY>

A *terceira atividade* consiste da apresentação de dois trechos de um vídeo⁹, os quais tratam do equilíbrio químico entre os íons cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). O primeiro deles evidencia a reversibilidade das reações em presença de H^+ e de OH^- em um sistema rico em cromato e outro rico em dicromato; o segundo evidencia a coexistência de reagentes e produtos pela precipitação de cromato de bário após a adição de Ba^{2+} em ambos os sistemas mencionados anteriormente. Nessa atividade, como na anterior, a equação é apresentada, as evidências são discutidas e o estudante é solicitado a elaborar uma explicação para o que ocorre no novo sistema, revendo seus modelos e analogias anteriores e, se necessário, modificando-os ou elaborando novos. Ao final dessa atividade, os estudantes são incentivados a socializar suas comparações e a avaliá-las criticamente.

A *quarta atividade* consiste em propor uma nova situação problema para os estudantes, com o objetivo de contemplar, principalmente, a etapa de avaliação dos modelos e das comparações elaboradas por eles. É apresentado aos estudantes o “galinho do tempo”, uma miniatura de galo que possui algumas partes da superfície de sua asa revestida com um composto de cobalto, o qual sofre alterações na cor quando exposto a ambientes secos ou úmidos. Os estudantes são solicitados a utilizar as analogias já elaboradas na tentativa de explicar o comportamento do sistema. O objetivo central dessa atividade é identificar a abrangência de suas analogias diante da nova situação.

Todas essas atividades foram planejadas visando, principalmente, ajudar os estudantes a vivenciar algumas etapas específicas da modelagem analógica mas, em função da dinamicidade do processo, outras etapas podem ter ocorrido em cada uma delas.

Como discutido anteriormente, nessas atividades o professor assume os papéis de guiar discutir e negociar significados a partir dos modelos e analogias propostos pelos estudantes, justificando a importância e riqueza dos questionamentos do professor nesse processo. Sendo assim, acreditamos que as categorias propostas por Chin (2007) podem nos auxiliar no *estudo do papel dos questionamentos dos professores em atividades de ensino fundamentadas na modelagem analógica*. Esse objetivo geral pode ser traduzido nas seguintes questões de pesquisa:

- *Quais são os tipos de questionamentos do professor mais recorrentes em cada etapa da modelagem analógica presente nas atividades da sequência de ensino proposta? Por que esses tipos são os recorrentes?*
- *Que relações podem ser estabelecidas entre os papéis dos questionamentos do professor e a construção de conhecimentos pelos estudantes nas diferentes etapas da modelagem analógica?*

9

Disponível em: < www.youtube.com/watch?v=_jypU3FvS_o>.

Metodologia

A sequência de ensino foi desenvolvida em uma escola estadual de uma pequena cidade do sudeste do Brasil, localizada em Minas Gerais. A escola foi selecionada devido à disponibilidade e abertura da professora, além do seu interesse em aperfeiçoar sua prática de ensino.

Durante seu curso de formação inicial, a professora vivenciou experiências formativas sobre a modelagem por meio de discussões com os pares e especialistas sobre a temática e da aplicação de uma sequência de ensino sobre equilíbrio químico como parte de atividades desenvolvidas como bolsista do PIBID (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência). Além disso, nesse período de formação, a professora também discutiu atividades fundamentadas em modelagem analógica, porém ainda não havia aplicado nenhuma sequência baseada nessas atividades. Finalmente, a professora da turma era recém-formada e que esta foi a primeira pesquisa da qual ela participou como docente.

De maneira geral, as aulas da professora na turma em que a sequência de ensino foi desenvolvida tinham um caráter predominantemente expositivo, com a maioria dos questionamentos dirigidos aos estudantes no sentido de checar o acompanhamento da narrativa pelos mesmos ou o seu entendimento de algum conceito específico. Em algumas poucas ocasiões eram realizados experimentos demonstrativos, com o objetivo de ilustrar ou discutir algum ponto do conteúdo que estava sendo trabalhado. Essas aulas tinham características mais interativas do que as primeiras, com a professora fazendo perguntas principalmente no sentido de sondar os entendimentos dos estudantes sobre o fenômeno ou sistema estudado ou as relações que estabeleciam com os conhecimentos tratados em aulas anteriores.

No que diz respeito ao desenvolvimento da sequência de ensino, a escolha da temática equilíbrio químico se deve à sua difícil compreensão por parte dos estudantes, o que tende a contribuir para o desenvolvimento de concepções alternativas. Além disso, esse tema é um dos componentes principais da organização do ensino de química, englobando conceitos como: estequiometria, cinética química e outros (SILVA, 2015).

A sequência foi aplicada em duas turmas do segundo ano do ensino médio; uma delas constituída de 20 estudantes e a outra de 12 estudantes. Em ambas foram utilizadas 10 aulas de 50 minutos cada. Os estudantes foram divididos em grupos de 4 a 5 integrantes.

Neste trabalho, selecionamos os dados de dois grupos, cada um deles com 4 integrantes, cujos nomes foram trocados por pseudônimos para manter suas identidades em sigilo. Optamos por analisar os dados coletados nestes grupos, devido à participação ativa dos integrantes durante as discussões que aconteceram entre eles, com os colegas de outros grupos e com a professora. Embora os estudantes, naquele contexto escolar, não estivessem habituados a participar de atividades de natureza predominantemente dialógica, todos demonstraram interesse pelas atividades, o que foi evidenciado pelo baixo índice de faltas às aulas no período de desenvolvimento da sequência de ensino.

Antes da realização da pesquisa, todos os participantes assinaram o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido) aprovado pelo COEP (Comitê de Ética em Pesquisa) da Universidade Federal de Ouro Preto.

Duas pesquisadoras participantes, uma com experiência em modelagem e a outra idealizadora das atividades, estavam inseridas na turma, auxiliando a aplicação das atividades. Esse fato parece ter propiciado uma maior segurança para a professora, que recorria a estas sempre que tinha dúvidas ou necessitava de auxílio em intervenções específicas. À medida que os estudantes passaram a se sentir mais confortáveis com a presença das pesquisadoras, eles também requisitaram o auxílio das mesmas.

Todas as aulas foram registradas em vídeo. Segundo Garcez; Duarte e Eisenberg (2011), as gravações em vídeo permitem capturar expressões corporais, faciais e verbais difíceis de serem captados com o uso de outros recursos. Isso justifica o uso em nossa pesquisa dos registros em vídeo, visto que os modelos, as analogias e as interações entre os sujeitos são em grande parte expressos por gestos, desenhos, ou outros meios materiais (como bolinhas, palitos e massinha), os quais não seriam captadas pelo registro em áudio.

Além disso, os modelos expressos (concretos) e as atividades redigidas pelos estudantes foram recolhidos, e compuseram o *corpus* de dados dessa pesquisa. Na maioria das vezes, no entanto, os modelos concretos recolhidos representavam o produto das ideias centrais das discussões, mas não o processo de desenvolvimento das mesmas. Por isso, optamos por analisar os modelos expressos a partir das informações contidas nas gravações e reproduzir esses modelos, em seus diferentes estágios, por meio de *printscreen* das imagens dos mesmos.

Devido ao foco da nossa pesquisa ser no papel dos questionamentos do professor, não serão analisados neste trabalho todos os modelos e analogias registrados no vídeo; serão discutidos apenas aqueles que foram mais explicitamente influenciados pelos questionamentos do professor.

Assistimos todas as aulas e transcrevemos na íntegra as interações estabelecidas pelos integrantes dos grupos analisados nas segunda e terceira atividades, destinadas a trabalhar os aspectos qualitativos do equilíbrio químico. A última atividade não foi analisada porque, uma vez que se tratava de atividade escrita que solicita a aplicação dos modelos e analogias desenvolvidos pelos estudantes nas duas atividades anteriores em um novo contexto, os mesmos trabalharam de maneira mais autônoma, não tendo sido observados questionamentos da parte da professora.

A partir das transcrições das aulas, iniciamos o processo de categorização dos questionamentos da professora ao longo da segunda e terceira atividades, com base na categorização proposta por Chin (2007), esquematizadas na figura 2.

Socrático	Tapeçaria Semântica	Enquadramento	Quebra-cabeça verbal
<p>Bombeamento:</p> <p>incentiva os estudantes a fornecer mais informações via solicitações explícitas.</p>	<p>Estimular o pensamento multimodal: faz questões que envolvem o uso de uma gama de pensamentos usando a fala, diagramas, imagens, símbolos, fórmulas e cálculos.</p>	<p>Questão prelúdio: usa proposições de pergunta-resposta; perguntas atuam como organizador avançado e introduz informações já apresentadas.</p>	<p>Associação de palavras-chave: orienta o estudante a formar uma série de declarações proposicionais para elaborar um quadro mental coerente.</p>
<p>Reflexão sobre afirmação prévia:</p> <p>faz uma pergunta em resposta a uma prévia afirmação feita pelo aluno.</p>	<p>Do amplo ao específico: orienta os estudantes a pensar no nível macro (visível) e no nível micro ou molecular, usando perguntas amplas e com foco específico.</p>	<p>Questão delineamento: faz uma pergunta ampla e perguntas subordinadas (utiliza meios visuais como slides para facilitar o delineamento).</p>	<p>Lacuna verbal:</p> <p>pausa no meio da frase para permitir que os estudantes a completem verbalmente.</p>
<p>Feedback de correção:</p> <p>faz uma questão que estimula o estudante a pensar, em vez de dar o <i>feedback</i> corretivo direto.</p>	<p>Questionamento em várias frentes: faz questões a partir de diferentes ângulos que abordam vários aspectos de um mesmo problema.</p>	<p>Questão resumo: fornece um resumo geral em formato de pergunta e resposta para consolidar pontos-chave.</p>	

Figura 2. Tipologia de questionamentos de professores que estimularam o pensamento produtivo de estudantes em aulas de Ciências (esquema para representação das categorias propostas por Chin (2007)).

Fonte: nossa autoria.

Durante a categorização, as pesquisadoras perceberam que alguns questionamentos do professor que poderiam ser enquadrados na categoria *tapeçaria semântica* (questionamentos no sentido de ajudar os estudantes a entrelaçar ideias na construção de um quadro conceitual coerente) não se enquadravam em nenhuma de suas subcategorias. Esses questionamentos eram todos de um mesmo tipo e estavam diretamente associados ao compromisso do professor com a atividade de modelagem: *checar o estado de desenvolvimento dos modelos* elaborados pelos estudantes.

Essa subcategoria foi incorporada à estrutura de Chin (2007) para que a mesma atendesse à especificidade das atividades de modelagem. Os questionamentos desse tipo visam auxiliar o professor na identificação dos aspectos do(a) fenômeno/entidade modelado(a) que o estudante já compreende e daqueles que o mesmo ainda apresenta uma compreensão inadequada ou incompleta.

Por meio desses, o professor pode contribuir no processo de construção do modelo ao avaliar, juntamente com os estudantes, as suas representações. Neste sentido, são realizadas perguntas como: “Você poderia me explicar o seu modelo?”; “Como

essa representação se relaciona com o fenômeno/entidade que ela representa?"; "Qual a diferença entre esse modelo e o anterior?"; "O que levou a modificar o seu modelo?" para contribuir nesse processo.

Em seguida, os diferentes tipos de questionamentos da professora foram associados às respectivas etapas da modelagem analógica em que ocorreram. Um mesmo questionamento não foi categorizado em mais de uma categoria ao mesmo tempo porque os questionamentos assumiram papéis bem definidos em cada uma daquelas etapas.

Elaboramos gráficos correspondentes a cada uma das atividades analisadas, com a intenção de favorecer uma melhor visualização do número de ocorrências desses questionamentos nas etapas que nos possibilitasse inter-relacioná-los.

A categorização foi realizada de maneira independente por cada uma das autoras deste trabalho e uma concordância média de 95% foi alcançada na primeira etapa da categorização. A principal fonte de divergência nessa etapa foi o foco excessivo no questionamento em si e nas respostas mais imediatas fornecidas pelos estudantes em detrimento da análise contextual dos mesmos. Num processo posterior de triangulação entre as autoras (COHEN; MANION; MORRISON, 2011), todas as divergências foram discutidas até estabelecimento de consenso.

Resultados e Discussão

Nesta seção, são apresentados os gráficos (1 e 2) construídos a partir da categorização dos questionamentos da professora com base no sistema de categorias e subcategorias de Chin (2007). Eles representam as ocorrências desses questionamentos nas respectivas etapas do processo de modelagem analógica contempladas na segunda e terceira atividades analisadas.

Da apreciação geral dos dados apresentados nos gráficos 1 e 2, é possível observar a ocorrência de 63 questionamentos ao longo das atividades analisadas. Desse total, 30 foram realizados na segunda atividade, e 33 na terceira atividade.

Em ambas as atividades analisadas neste trabalho houve um predomínio de questionamentos do professor enquadrados nas categorias gerais do tipo *socrático* e *tapeçaria semântica*, mas uma análise comparativa do espectro desses questionamentos, representado nos gráficos 1 e 2, nos permite afirmar que houve um deslocamento de questionamentos mais simples de *bombeamento* (5 na segunda atividade e 4 na terceira) para aqueles de maior demanda cognitiva como: *feedback de correção* (2 na segunda atividade e 5 na terceira); de *reflexão sobre afirmação prévia* (3 na segunda atividade e 7 na terceira); e *do amplo ao específico* (2 na segunda atividade e 6 na terceira).

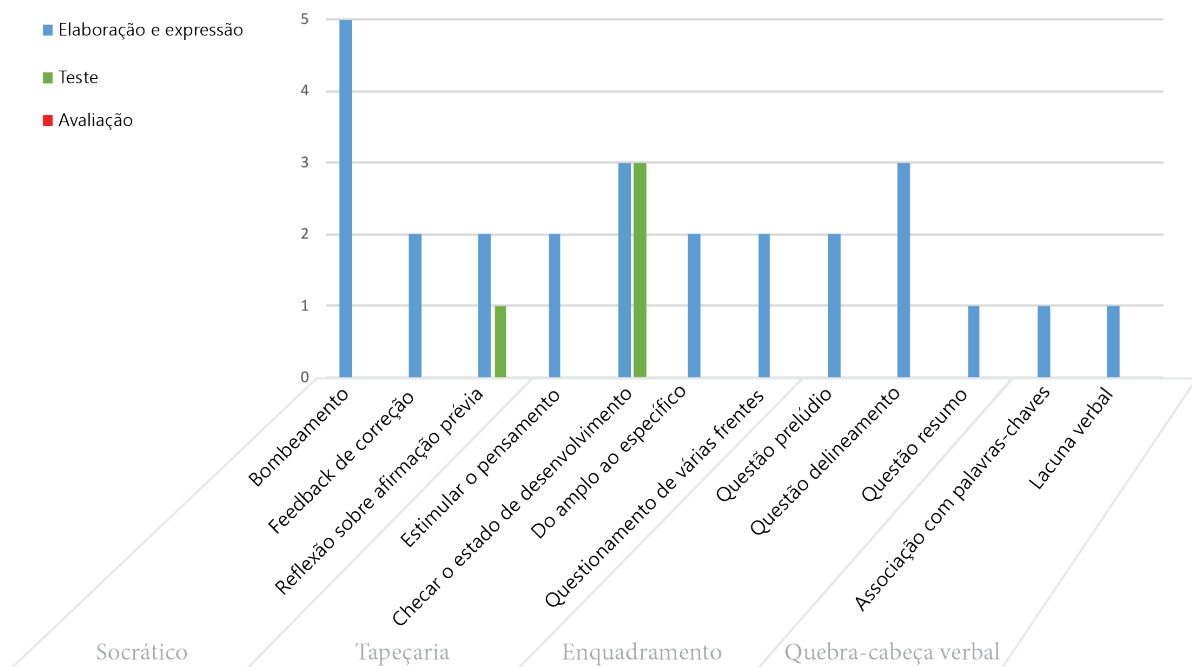


Gráfico 1. Frequência dos diferentes tipos de questionamentos da professora nas etapas da Modelagem Analógica vivenciadas pelos estudantes na segunda atividade.

Fonte: nossa autoria.

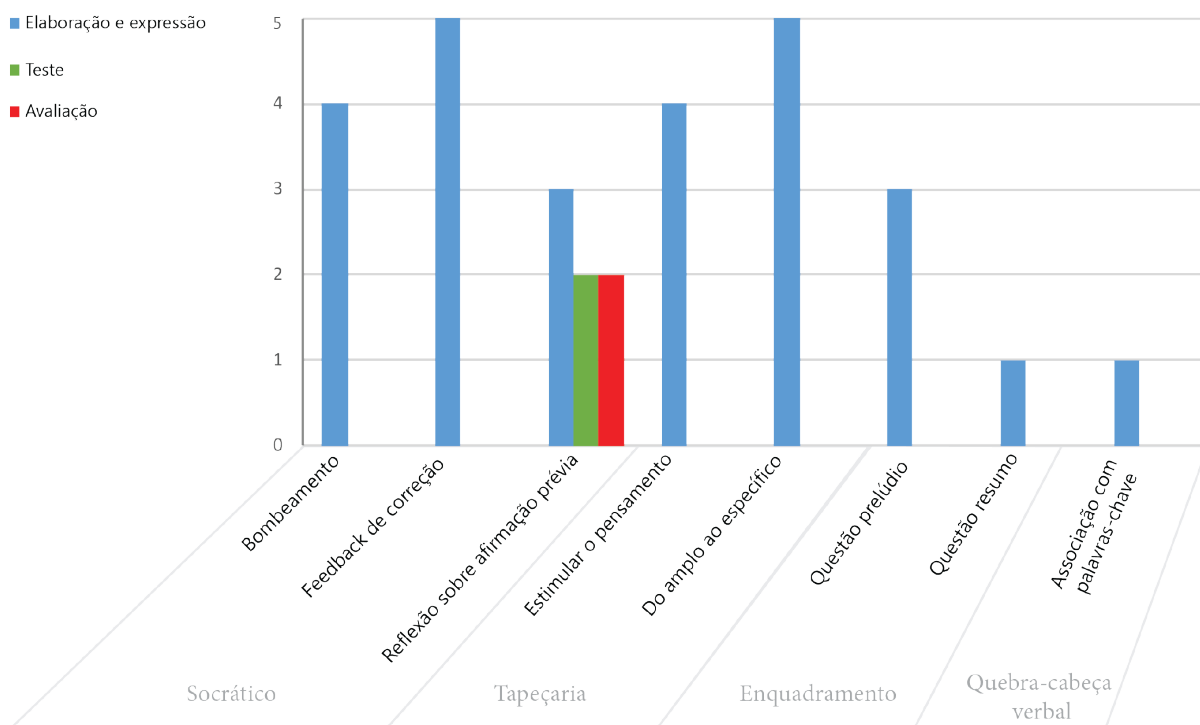


Gráfico 2. Frequência dos diferentes tipos de questionamentos da professora nas etapas da Modelagem Analógica vivenciadas pelos estudantes na terceira atividade.

Fonte: nossa autoria.

Com relação aos questionamentos das categorias gerais do tipo *enquadramento e quebra-cabeça verbal*, podemos observar que os questionamentos do tipo *questão prelúdio* (2 na segunda atividade e 3 na terceira), *questão delineamento* (3 na segunda atividade e nenhum na terceira), *questão resumo* (1 na segunda atividade e 1 na terceira), *associação de palavras-chave* (1 na segunda atividade e 1 na terceira atividade) e *lacuna verbal* (1 na segunda atividade e nenhuma na terceira) se deslocaram no sentido de avançar a organização das ideias dos estudantes, introduzindo e revendo as ideias e pensamentos já elaborados na segunda atividade e conduzindo-os para a elaboração de novos conhecimentos. Na terceira atividade, o auxílio por meio de questionamentos do tipo de delineamento (perguntas amplas e subordinadas para auxiliar os estudantes na organização das ideias) e lacuna verbal (perguntas para minimizar dificuldades de expressão por limitação de vocabulário adequado) pareciam já não fazer sentido, uma vez que os estudantes articulavam melhor suas ideias.

Para uma compreensão mais pormenorizada desses dados, a seguir, estabelecemos e discutimos inter-relações entre os tipos de questionamentos profícuos do professor¹⁰ e as etapas da modelagem analógica e fornecemos exemplos de algumas das subcategorias no sentido de auxiliar a compreensão dos aspectos discutidos.

Na segunda atividade da sequência de ensino os estudantes são requisitados a explicar o comportamento do sistema $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$ sob aquecimento e resfriamento apresentado no vídeo e, em seguida, a elaborar modelos e analogias para explicar esse comportamento. Esses processos de elaboração e expressão exigem que eles obtenham informações que os auxiliem na construção dos modelos e analogias e, em paralelo, tenham em mente quais aspectos do sistema observado eles pretendem representar a partir de seus modelos e analogias.

Isso parece justificar a recorrência, nessas etapas, de questionamentos do professor do tipo *socrático* da subcategoria de *bombeamento* (gráfico 1), uma vez que nelas é fundamental que o professor identifique os conhecimentos prévios que os estudantes trazem e os oriente na busca por mais informações. Além disso, os estudantes participantes da pesquisa não estavam habituados, naquele contexto escolar, a participar de atividades de natureza dialógica e que exigiam deles uma participação ativa. Por isso, a professora procurava a todo tempo incentivá-los a se expressar, como ilustra o exemplo desse tipo de questionamento:

Professora: *Esse choque foi efetivo?* (Se refere aos choques entre as moléculas de NO_2).

Manoel: *Foi.*

Professora: *Se transformou no quê?*

Manoel: N_2O_4 .

Professora: *No nosso experimento, no primeiro momento (aquecimento) que cor ficou evidente?*

10 Denominamos questionamentos profícuos do professor aqueles que possibilitaram que o estudante avançasse na compreensão do conteúdo curricular, de modelos, de analogias ou de procedimentos da modelagem analógica.

Manoel: *Castanho.*

Professora: *Qual era a cor antes de colocar o tubo na água?*

Manoel: *Não lembro a cor não.*

Essa transcrição ilustra o questionamento realizado pela professora no momento em que os estudantes foram solicitados a elaborar uma explicação para a mudança de cor do sistema gasoso, a partir dos modelos produzidos por eles. Observa-se que ela busca incentivar os estudantes a falar, questionando-os com o objetivo de focar a atenção deles nas evidências e de trazer informações necessárias para a construção da explicação para o comportamento do sistema.

Outra subcategoria de *questionamentos socráticos* recorrente nas etapas de *elaboração e expressão* foi a de *feedback de correção* (gráficos 1 e 2), que tem por objetivo incentivar o estudante a refletir e reconsiderar as suas respostas. No exemplo a seguir, a professora solicita que os estudantes expressem, usando seus modelos concretos, como estão as moléculas do sistema gasoso de $\text{NO}_2/\text{N}_2\text{O}_4$.

Manoel: *Você quer saber por que ficou mais clara?*

Professora: *Isso. O que aconteceu dentro do tubo para termos essa coloração mais clara?*

Manoel: *As partículas se separam* (se refere às partículas de N_2O_4).

Professora: *Olha, vocês me responderam que na água quente as partículas se separam.*

Manoel: *Formou outras, né?*

Professora: *Vamos simular igual vocês fizeram no primeiro em que escureceu. Mas e agora para este caso?*

Joana: *Eu acho que vai juntar.*

Estela: *É, porque se no outro separou, agora nesse vamos juntar.*

Observamos que a professora faz questões no intuito de estimular o pensamento dos estudantes, mas sem fornecer respostas diretas às suas perguntas. Assim, ela permite que eles construam as suas ideias e reflitam sobre elas à medida que elaboram e expressam seus modelos. No caso exemplificado pelo trecho anterior, ela, os auxiliou a pensar sobre a formação e quebra de ligações químicas na formação de novas substâncias.

Ainda em relação à etapa de *elaboração e expressão*, outro tipo de questionamento que se destaca é *do amplo ao específico* da categoria *tapeçaria semântica* (gráfico 2), o qual tem como característica ajudar os estudantes a compreender um conceito no nível macroscópico (mais abrangente) e no nível submicroscópico (em profundidade). O exemplo a seguir se refere à terceira atividade, que consiste na apresentação de dois vídeos que apresentavam o comportamento do sistema em equilíbrio $\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ sob adição de H^+ e OH^- e sob adição de íons bário (Ba^{2+}).

Professora: *Então, como vocês podem explicar esse aspecto (dos sistemas após a adição de Ba^{2+})? Olhem só: no primeiro, o sólido não se dissolve. Formamos o cromato de bário. E no segundo, dissolveu tudo, ou não?*

Roberto: *Dissolveu tudo não.*

Professora: *Então, por que dessa diferença?*

Joaquim: *Ah, porque você tem um pouco de cada (se refere ao CrO_4^{2-} e $Cr_2O_7^{2-}$).*

Professora: *Um pouco de cada, né? Você consegue justificar essa cor?*

Carlos: *Porque tem um pouco de cada, uma metade de cada.*

Percebemos que a professora faz questões no intuito de focar a atenção dos estudantes nos aspectos visuais da formação de um sólido insolúvel (cromato de bário), formado quando os íons bário são adicionados nos tubos contendo íons cromato e íons dicromato. Tal foco é relevante, pois o objetivo dessa atividade é discutir a coexistência dos íons cromato e dicromato e, para tal, questionamentos que orientem os estudantes a compreender a evidência macroscópica (formação de cromato de bário em ambos os tubos) e a explicá-la no nível submicroscópico são fundamentais para tentar auxiliá-los na construção e expressão de modelos coerentes para representar entidades tão abstratas para eles. Até esse momento, os estudantes haviam sido capazes de compreender a coexistência dos íons, apesar de associá-la à igualdade de concentração das espécies.

Observamos que as subcategorias do tipo *questão resumo* (recapitula sucintamente os conceitos-chaves), *associação de palavras-chave e frases* (reforça o vocabulário científico, auxiliando na elaboração de declarações pelo estudante) e *lacuna verbal* (pausa no meio da frase para permitir que os estudantes a completem verbalmente), que ocorreram nas etapas de *elaboração e expressão dos modelos*, tiveram uma pequena recorrência nas segunda e terceira atividades (gráficos 1 e 2), se comparadas às demais.

Apesar disso, elas foram importantes nas etapas mencionadas, especialmente para atender aqueles estudantes cuja falta de terminologia científica adequada poderia ser um impedimento para que eles expressassem seus modelos e analogias. Essas questões contribuíram para o engajamento de toda a turma em diferentes níveis de discussão.

Nas etapas de *elaboração e expressão* que ocorreram durante a terceira atividade (gráfico 2) observa-se que, embora a subcategoria de *bombeamento* continue tendo uma ocorrência significativa com a mesma finalidade da segunda atividade – incentivar os estudantes a falar – os questionamentos predominantes naquela atividade foram do tipo *feedback de correção* e *do amplo ao específico*. Consideramos que isso aconteceu, porque, uma vez que os estudantes já estavam um pouco mais familiarizados com alguns termos associados ao conteúdo científico e com a dialogia das atividades, a professora pode mudar o foco dos questionamentos para estimular o estudante a pensar e refletir sobre suas respostas e representações considerando aspectos dos níveis macroscópico e submicroscópico.

Outra subcategoria que também teve uma ocorrência considerável nas etapas de elaboração e expressão foi *estimular o pensamento multimodal* (gráfico 2). A professora

propôs que os estudantes se expressassem a partir de diferentes modos de representação (verbal, visual, gestual, simbólico etc.) e que transitassem entre eles. Por exemplo, após se expressarem por meio de modelos concretos, ela fazia questionamentos a partir dos quais eles eram estimulados a simular o comportamento do sistema usando os modelos e a se expressar também por meio de uma analogia. A capacidade de tradução de um modelo em diferentes modos de representação tem sido apontada por autores como Queiroz (2009) como indicativa do desenvolvimento da capacidade de visualização dos estudantes.

Também nas etapas de *elaboração e expressão*, observamos a ocorrência da subcategoria *checar o estado de desenvolvimento dos modelos* da categoria *tapeçaria semântica* (gráfico 1). Segue um exemplo, no qual a professora solicitou que os estudantes expressassem o modelo elaborado por eles com o auxílio de bolinhas de isopor, massa de modelar, palitos, lápis de cor e papel.

Professora: *Vocês já representaram o NO₂, agora terminem de representar o outro (se referindo ao modelo da molécula N₂O₄). O que está faltando aqui?*

Manoel: *Duas moléculas de oxigênio, nessa outra bolinha grande (ver figura 3).*

Professora: *Por que você ligou um oxigênio no outro aqui?*

Manoel: *Porque estava faltando bolinha.*

Professora: *Então, vou pegar mais bolinha.*



Figura 3. Modelo para o N₂O₄ apresentado por Manoel.

Esses questionamentos são essenciais nas etapas de elaboração e expressão dos modelos, pois, nessas etapas, os estudantes estão obtendo e organizando as experiências e informações que julgam relevantes para a seleção de uma origem coerente para o modelo. Nesse sentido, *checar o estado de desenvolvimento do modelo* nessas etapas e naquela de *teste* é uma condição necessária para que o professor seja capaz de auxiliá-los no entendimento dos conteúdos químicos abordados nas atividades.

Nas etapas de *teste da analogia* de ambas as atividades (gráficos 1 e 2) os *questionamentos socráticos* da subcategoria *reflexão sobre afirmação prévia* tiveram uma ocorrência relevante. Isso pode ser atribuído ao fato de que, sendo o estudante o autor da analogia, este precisa ser estimulado a partir de questionamentos que atribuem a ele parte da responsabilidade do processo de construção de significados. Por meio desse tipo de questionamento, a professora os auxiliava a explicitar as diferenças e semelhanças entre os domínios comparados, guiando-os para que percebessem a necessidade de

reformular as relações que embasavam suas comparações, ou até substituí-las.

Nos momentos de *avaliação da analogia* na terceira atividade (gráfico 2), nos quais os estudantes eram solicitados a avaliar aspectos comparáveis e não comparáveis entre o análogo e o alvo, aconteceram questionamentos dos tipos *socrático*, *reflexão sobre afirmação prévia* e *tapeçaria semântica*, *do amplo ao específico*. Durante a comunicação de suas comparações para toda a turma, (i) os questionamentos de *reflexão sobre afirmação prévia* foram essenciais para que os estudantes fundamentassem as ideias expressas em suas comparações; e (ii) os questionamentos *do amplo ao específico* foram essenciais para que eles pensassem nelas a partir dos diferentes níveis de representação. Ambos os questionamentos também foram usados para evitar que eles atribuíssem excessiva importância às semelhanças em detrimento da discussão das limitações presentes em suas comparações. Isto é importante, pois, como discutido por Harrison (2008), tal incompreensão pode levar os estudantes a imaginar que as relações analógicas que estabelecem por meio de suas analogias têm a capacidade de representar o domínio alvo em sua totalidade.

O trecho a seguir ilustra questionamentos de *reflexão sobre afirmação prévia* realizados pela professora na etapa de avaliação da modelagem analógica, a partir dos quais ela incentiva o estudante a identificar e refletir sobre as diferenças entre os domínios comparados:

Professora: *Agora, o Manoel vai apresentar a analogia que o grupo dele criou.*

Manoel: *Então... Tenho um bule que contém água, com uma tampa em cima, e está aquecendo. O vapor fica retido. O vapor que sobe e fica na tampa é o mesmo que desce e volta para a água líquida. Aí, a água ferve, sobe, fica umas gotinhas e descem. Fica num vai e volta. É mesma velocidade.*

Professora: *É semelhante em termos da velocidade e diferente em quê?*

Manoel: *É físico e o outro (se refere ao equilíbrio $\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) é químico.*

Professora: *Semelhante na velocidade, então, e diferente porque um é físico e o outro químico, né?*

Manoel: *É. Nesse aqui não deixa de ser água. No experimento tem uma nova coloração porque outra substância foi formada.*

Por meio dessa analogia, os estudantes foram capazes de representar a dinamicidade e a reversibilidade do equilíbrio químico e de reconhecer, como limitação da analogia, o fato de que comparavam transformações de naturezas diferentes (física, no caso da água e química, no caso do sistema $\text{CrO}_4^{2-}/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$).

Outro tipo de questionamento que ocorreu na etapa de *avaliação* (gráfico 2) e que vale a pena discutir, menos por sua recorrência e mais pela sua significância no processo, é o da subcategoria *com foco com zoom* da categoria *tapeçaria semântica*. O exemplo a seguir ilustra esse tipo de questionamento.

Professora: *Gostaria que os participantes do grupo 3 viessem aqui na frente e apresentassem a analogia do grupo. Qual a analogia do grupo de vocês?*

Samuel: *Nós fizemos a analogia da água e do gelo. Por exemplo, temos um recipiente com água e retiramos calor dele. Aí, no processo de perda de calor, a água vai transformar em gelo, e ao mesmo tempo que a gente fornecer calor para o recipiente na temperatura ambiente, vai voltar a ser água líquida.*

Professora: *Em que isso é diferente dos sistemas que observamos?*

Carlos: *É só que isso (se refere aos processos de fusão e congelamento) não acontece ao mesmo tempo.*

Samuel: *Não tem jeito! Não é ao mesmo tempo que ela congela e descongela.*

Carlos: *Essa é uma diferença.*

Professora: *Vocês conseguem identificar alguma outra?*

Samuel: *Também é um processo físico, né? É a mesma água, é o mesmo produto, só vai derreter.*

Nesse exemplo, enquanto tentavam pensar do nível macroscópico para o submicroscópico e deste para aquele, os estudantes avaliaram a analogia proposta por eles, refletindo sobre as relações mapeáveis e não mapeáveis entre os domínios comparados. Eles observaram que a analogia elaborada tinha limitações, como: a impossibilidade de representar a simultaneidade da ocorrência das reações direta e inversa do sistema em equilíbrio químico a partir dos processos físicos de congelamento e descongelamento da água propostos; e as diferentes naturezas desses processos. Isso indica de que certo entendimento sobre a parcialidade das representações pode ter sido alcançado, uma vez que os estudantes foram capazes de refletir com maior autonomia e propriedade sobre as diferenças entre os domínios alvo e o análogo que compararam nessa etapa de *avaliação*.

Conclusões e Implicações

Neste trabalho, investigamos o papel dos questionamentos do professor nas atividades de modelagem analógica, nas quais os estudantes, guiados pelo professor, se envolvem na elaboração, crítica e reformulação de suas próprias analogias. Nosso estudo se diferencia de estudos como os de Palincsar (1986 apud Cazden, 2001), que propõe as quatro estratégias de compreensão do discurso na sala de aula utilizadas pelos professores para monitorar e guiar a compreensão dos estudantes (questionamento, esclarecimento, resumo e previsão), e de Lemke (1997) que discorre acerca do diálogo triádico de iniciação-resposta-avaliação, pois buscamos não só abordar as perguntas do professor, mas também investigar como os seus questionamentos se articulam, de forma intencional, para promover a aprendizagem dos estudantes relacionada com os objetivos da sequência de ensino sobre equilíbrio químico fundamentada na modelagem analógica.

Nesse sentido, ao lidar com a análise do discurso de situações reais em salas de

Ciências, a tipologia de questionamentos proposta por Chin (2007) nos possibilitou a caracterização e análise da maioria dos questionamentos identificados em atividades de modelagem analógica, realizadas em um contexto no qual os estudantes não estavam habituados a se engajar em atividades de cunho predominantemente dialógico.

Por outro lado, a tipologia proposta por Chin se mostrou insuficiente para lidar com um dos aspectos específicos das atividades de modelagem: a *checagem do estado de desenvolvimento do modelo*. Questionamentos desse tipo permitem ao professor avaliar as possíveis reformulações que os estudantes foram capazes realizar em suas representações até aquele momento e as possíveis ideias incoerentes com as curriculares que ainda fundamentam essas representações. Isso pode possibilitar um auxílio mais informado e eficiente por parte do professor na (re)construção/(re)estruturação dessas ideias.

Apesar de estudos como os de Clement e colaboradores (2008) sinalizarem a existência de relações entre o processo de construção de modelos pelos estudantes e os questionamentos discrepantes realizados pelos professores nesse processo, tais estudos não foram abrangentes o suficiente para considerar outros tipos de questionamentos como os de bombeamento, aparentemente menos profundos pelo seu objetivo de incentivar os estudantes a se expressar. Diante da limitação desses estudos, centramos nossa análise nas categorias propostas por Chin (2007), buscando identificar: (i) os tipos de questionamentos da professora mais recorrentes nas etapas da modelagem analógica e suas causas; e (ii) as relações desses questionamentos com a construção de conhecimentos pelos estudantes ao longo das etapas vivenciadas nas atividades da sequência de ensino proposta.

Assim, para responder a nossa primeira questão de pesquisa, contabilizamos as ocorrências de cada tipo de questionamento em cada atividade e os separamos de acordo com as etapas da modelagem analógica. Relacionamos os dados em gráficos e a partir deles observamos que na segunda atividade (gráfico 1) os questionamentos socráticos de *bombeamento* foram os mais recorrentes. Podemos associar isto ao fato de os estudantes analisados não estarem habituados a realizar atividades que exigem a expressão de suas ideias através da fala e de outras formas de comunicação. A todo momento, a professora fez questões que os incentivou a expor suas ideias, proporcionando-lhes oportunidades de socialização das mesmas com seus pares e favorecendo a troca de experiências entre eles. Segundo Lemke (1997), esse processo contribui para a introdução gradual dos estudantes em comunidades científicas (que *falam* ciência).

Na terceira atividade (gráfico 2), observamos uma maior ocorrência dos questionamentos socrático de *feedback de correção*. Consideramos que os estudantes tiveram uma evolução ao longo do desenvolvimento da sequência de ensino, pois a professora não precisou, com tanta frequência, fazer questões para estimulá-los a se expressar. Eles pareciam um pouco mais familiarizados com alguns termos associados ao conteúdo científico e com a dialogia das atividades, o que possibilitou à professora centrar seus questionamentos na tarefa de proporcionar momentos de reflexão sobre as

ideias expressas pelos estudantes.

Além disso, observamos uma ocorrência considerável de questionamentos do tipo tapeçaria semântica, da subcategoria *estimular o pensamento multimodal*, a partir dos quais a professora propunha aos estudantes que se valessem de variados modos de representação (verbal, visual, gestual, simbólico e outros) para expressar seus modelos e desenvolver suas capacidades de visualização (QUEIROZ, 2009). Esses tipos de questionamentos foram recorrentes, pois são parte inerente de atividades planejadas a partir dos pressupostos do Ensino de Ciências fundamentado na Modelagem (JUSTI, 2006; 2009).

Outro questionamento da categoria tapeçaria semântica recorrente e de relevância considerável foi o *do amplo ao específico*. Julgamos que isso ocorreu por que as atividades de Modelagem Analógica, tal como foram organizadas, permitiram à professora uma mudança gradual do foco de expressão para a reflexão sobre as ideias expressas e deste para uma reflexão específica sobre os aspectos macroscópicos observados e as explicações submicroscópicas elaboradas.

A partir da discussão da ocorrência dos questionamentos nas etapas da modelagem analógica, estudamos os diferentes papéis que estes assumiram na construção de conhecimentos pelos estudantes naquelas etapas na tentativa de responder nossa segunda questão de pesquisa. A partir daí, concluímos que os papéis foram os seguintes:

Na elaboração e expressão: partindo inicialmente dos questionamentos socráticos, de *bombeamento* iniciais com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios, orientando e estimulando os estudantes a se expressar, a professora passou para os questionamentos de *reflexão sobre afirmação prévia*, *feedback de correção*, *tapeçaria semântica*, e *checar o estado de desenvolvimento dos modelos* com o objetivo de estimulá-los a pensar em lugar de fornecer respostas. Isso favoreceu a construção de modelos e analogias que contemplassem ideias e práticas cada vez mais coerentes com as científicas.

No teste: a professora iniciou as interações com questionamentos do tipo *socrático*, *reflexão sobre afirmação prévia* para favorecer a reflexão dos estudantes, levando-os a avaliar semelhanças e diferenças entre os domínios comparados durante a realização de testes mentais e a julgar a necessidade de reformular ou abandonar suas comparações e modelos.

Na avaliação: a professora realizou questionamentos do tipo *socrático*, *reflexão sobre afirmação prévia* e do tipo *tapeçaria semântica*, *do amplo ao específico* para fazer com que os estudantes percebessem e avaliassem as limitações e abrangências dos seus modelos e analogias, tornando-os críticos do seu processo de aprendizagem.

Nosso estudo forneceu uma quantidade significativa e relevante de evidências que nos possibilitam relacionar os questionamentos do professor e o desenvolvimento dos estudantes nas etapas da modelagem analógica naquele contexto. Isso nos permite concluir que tais questionamentos foram os principais responsáveis por minimizar as dificuldades dos estudantes em cada uma daquelas etapas, garantindo que as interações que eles estabeleceram entre si, com o professor e com as novas

informações, contribuíssem para a construção de modelos e analogias gradualmente mais coerentes com o conhecimento científico.

Nesse processo, tal como descrito por Cazden (2001), os estudantes são introduzidos em novas formas de pensamento e de linguagem (os da ciência), vivenciando os processos de reconceitualização e recontextualização em parceria com os pares e com o professor.

Cazden (2001) também argumenta que os professores necessitam possuir um repertório de estruturas de aulas e estilos de ensino para objetivos educacionais cada vez mais complexos. Portanto, acreditamos que esse estudo possa contribuir para orientar professores de Ciências, em especial iniciantes (como a professora participante dessa pesquisa) interessados na condução de atividades de ensino fundamentadas em Modelagem Analógica sobre alguns tipos de questionamentos profícuos que o professor pode realizar nessas atividades. Além disso, o conhecimento sobre esses questionamentos e o papel que eles desempenham na co-construção dos conhecimentos curriculares de Ciências pode contribuir para o estabelecimento de importantes discussões sobre a temática na formação inicial de professores.

Para um mapeamento mais amplo desses questionamentos e um entendimento mais profundo sobre eles, mais estudos precisam ser realizados em distintos contextos e com diferentes sequências de ensino. Ainda como ampliação desse estudo, linhas de pesquisas relacionadas aos questionamentos dos estudantes e à inter-relação entre estes e os questionamentos do professor em atividades fundamentadas em modelagem analógica poderiam contribuir para os campos da pesquisa e do ensino de Ciências.

Agradecimentos

CNPq e FAPEMIG.

Referências

CAZDEN, C. **Classroom discourse: The language of teaching and learning**. New Hampshire: Heinemann, 2001.

CHIN, C. Teacher questioning in science classrooms: Approaches that stimulate productive thinking. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 44, n. 6, p. 815–843, 2007.

CLEMENT, J. Student/teacher co-construction of visualize models in large group discussion. In: REA-RAMIREZ, M. A.; CLEMENT, J (Orgs.). **Model Based Learning and Instruction Science**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 11-22.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research Methods in Education**. 7 .ed. London and New York: Routledge Falmer, 2011.

GARCEZ, A.; DUARTE, R.; EISENBERG, Z. Produção e análise de vídeogravações em pesquisas qualitativas. **Educação e Pesquisa**, v. 37, n. 2, p. 249–262, 2011.

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

GIERE, R. **Explaining science: A cognitive approach**. Chicago: University of Chicago Press, 1988.

HARRIS, C. J.; PHILLIPS, R. S.; PENUEL, W. R. P. Examining teachers' instructional moves aimed at developing students' ideas and questions in learner-centered science classrooms. **Journal of Science Teacher Education**, v. 23, n. 7, p. 769–788, 2012.

HARRISON, A. G. Multiple analogies are better than one-size-fits-all analogies. In: HARRISON, A. G.; COLL, R. K. (Orgs.). **Using analogies in middle and secondary science classrooms: The FAR guide-an interesting way to teach with analogies**. California: Corwin, 2008. p. 46–65.

JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias**, v. 24, n. 2, p. 173–184, 2006.

_____. Learning how to model in science classroom: key teacher's role in supporting the development of students' modelling skills. **Educación Química**, v. 20, n. 1, p. 32–40, 2009.

_____. Las concepciones de modelo de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. In CAAMAÑO, A. (Org.). **Didáctica de la Física e la Química**. Barcelona: Editorial Graó, 2010. p. 85–104.

JUSTI, R.; GILBERT, J. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**. v. 24, n. 4, p. 369–387, 2002.

LEMKE, J. L. **Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores**. Espanha: Editora Paidós, 1997.

MAIA, P. F. **Modelagem e suas contribuições para o ensino de ciências: Uma análise no estudo de equilíbrio químico**. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 7, n. 3, 2002. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol7/n3/v7_n3_a7.htm>. Acesso em: 21 mar. 2016.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC). Florianópolis, 2009. MORTIMER, E.; PINHO ALVES, J. (Orgs.) **Atas...** Florianópolis: ABRAPEC, 2009. (CD-ROM).

MOZZER, N. B. **O entendimento conceitual do processo de dissolução a partir da**

elaboração de modelos e sob a perspectiva da Teoria dos Campos Conceituais. 2013. 263 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. “Nem Tudo que Reluz é Ouro”: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciência**, v. 15, n. 1, p.123–147, 2015.

MORRISON, M.; MORGAN, M. S. Models as mediating instruments. In: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. (Orgs.). **Models as Mediators: Perspectives on natural and social science**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. p. 10–37.

NERSESSIAN, N. J. Model-based reasoning in conceptual change. In MAGNANI, L.; NERSESSIAN; N. J.; THAGARD, P. (Orgs.). **Model-based Reasoning in Scientific Discovery**. New York: Academic Plenum Publishers, 1999. p. 5–22.

NÚÑEZ-OVIEDO, M. C.; CLEMENT, J. A Competition Strategy and Other Modes for Developing Mental Models in Large Group Discussion. In: REA-RAMIREZ, M. A.; CLEMENT, J. (Orgs.). **Model Based Learning and Instruction Science**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 117–138.

QUEIROZ, A. S. **Contribuições do ensino de ligação iônica baseado em modelagem ao desenvolvimento da capacidade de visualização.** 2009. 249 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte, 2009.

REA-RAMIREZ, M. A.; NÚÑEZ-OVIEDO, M. C. Role of discrepant questioning leading to model element modification. In: REA-RAMIREZ, M. A.; CLEMENT, J. (Orgs.). **Model Based Learning and Instruction Science**. Dordrecht: Springer, 2008. p. 195–213.

SILVA, T. A.; MOZZER, N. B. Conjugando modelagem e analogia no ensino de equilíbrio químico. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências(ENPEC). Águas de Lindóia, 2015. SELLES, S. E.; AMARAL, E. M. R. (Orgs.) **Anais...** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015. (CD-ROM).

SILVA, T. A. **Proposta de Sequência didática que conjuga analogia e modelagem no ensino de equilíbrio químico.** 2015. Monografia (Química Licenciatura) – Departamento de Química, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2015. Disponível em: <<http://lapeq.ufop.br/>>. Acesso em: 21. mar. 2016.

SMART, J. B.; MARSHALL, J. C. Interactions between classroom discourse, teacher questioning, and student cognitive engagement in middle school science. **Journal of Science Teacher Education**, v. 24, n. 2, p. 249–267, 2013.

Gabriela Mara de Paiva Campos Andrade

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Educação
Ouro Preto, Brasil
gabrielamaraandrade@outlook.com

Nilmara Braga Mozzer

Universidade Federal de Ouro Preto
Departamento de Química
Ouro Preto, Brasil
nilmara@iceb.ufop.br

Recebido em 17 de maio de 2016
Aceito para publicação em 26 de novembro de 2016