



Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química

Introduction to philosophy of chemistry: a review of the main issues discussed in the area and its relevance for chemical education

Anielli Fabiula Gavioli Lemes

Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (PIEC)
Faculdade de Educação; Instituto de Química; Instituto de Física; Instituto de Biologia
Universidade de São Paulo (USP)
ani_fgl@iq.usp.br

Paulo Alves Porto

Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ)
Instituto de Química
Universidade de São Paulo (USP)
palporto@iq.usp.br

Resumo

Este trabalho apresenta um levantamento bibliográfico acerca das questões mais discutidas da área da filosofia da química, tais como as especificidades da química, o realismo, o reducionismo, a ética, a estética e a imagem pública da química, bem como suas possíveis implicações para o ensino de química. O objetivo é mostrar como a contemporânea filosofia da química pode promover reflexões entre os educadores, auxiliando a escolha sobre o que ensinar, e como ensinar, em disciplinas e cursos de química.

Palavras-chave: Filosofia da química; Ensino de química; realismo; reducionismo.

Abstract

This work presents a bibliographical review on the most discussed issues in the area of philosophy of chemistry, such as the distinctive aspects of chemistry, realism,

reductionism, ethics, aesthetics and public image of chemistry, as well as its possible implications for chemistry teaching. The aim is to show how contemporary philosophy of chemistry can promote reflections among educators, aiding the choice on what to teach and how to teach in chemistry disciplines and courses.

Keywords: Philosophy of chemistry; Chemical Education; realism; reductionism.

Introdução

Este trabalho tem como objetivo investigar e divulgar as questões mais discutidas na área de filosofia da química e suas implicações para o ensino de química. Vários pesquisadores nessa área entendem que as reflexões provenientes da filosofia da química precisam ser incorporadas ao ensino de química de diversas formas e em diversos níveis, pois podem contribuir para o melhor entendimento sobre o que ensinar, e como ensinar, em disciplinas e cursos de química. Observa-se, porém, que essas reflexões ainda são pouco difundidas entre os educadores em química no Brasil.

Apresenta-se aqui um levantamento bibliográfico no qual foram delineadas as principais questões a respeito da natureza da química, que estão sendo abordadas pelos filósofos da química na atualidade. Assim, procurou-se sistematizar, primeiramente, os artigos que tratam da discussão sobre “como a química funciona”; em seguida, são abordados artigos que tratam de filosofia e ensino de química, buscando compreender como essa interface se constrói. Pretende-se, dessa maneira, fornecer subsídios para a formação inicial do químico e do professor de química, e para futuros trabalhos de pesquisa na área.

A institucionalização da filosofia da química, como uma área de pesquisa especializada, é um fenômeno relativamente recente. Na década de 1990, preocupados, em particular, com a imagem pública da química, químicos, historiadores, filósofos e educadores em química deram início a um processo de interações, troca de ideias e discussões a respeito da natureza e do papel da química no mundo moderno (SCHUMMER, 2003a). Em 1995, foi lançada a revista *HYLE: International Journal for Philosophy of Chemistry*, primeiro periódico especializado em assuntos da filosofia da química. Dois anos depois, após vários encontros nacionais e internacionais, ocorridos na Europa, foi criada a Sociedade Internacional de Filosofia da Química (ISPC, na sigla em inglês), a qual, desde 1999, publica a revista *Foundations of Chemistry* (SCHUMMER, 2003a). É pertinente mencionar que essa emergente filosofia da química não é um esforço apenas de filósofos da ciência que se especializaram em um ramo, mas especialmente de químicos, educadores e também historiadores da química que têm se dedicado a reflexões sobre as particularidades dessa ciência.

Considerando os marcos institucionais citados, o presente trabalho de revisão se voltou, inicialmente, para os trabalhos publicados entre 1997 e 2011 na revista *HYLE*, visando caracterizar quais temas foram abordados, e de que maneira. Em seguida, a revisão foi expandida, utilizando as palavras-chaves levantadas na primeira revisão, para *Foundations of Chemistry* e outros periódicos da área de filosofia da ciência, ou que publiquem artigos relacionados à filosofia da química, bem como para os livros publicados nessas áreas. Assim, foram complementados os eixos temáticos caracterizados a partir da revista *HYLE*. Paralelamente a isso, buscaram-se, também por palavras-

chaves, artigos e livros que relacionassem filosofia da química e ensino de química, visando trazer subsídios para a construção da interface entre essas duas áreas.

Dessa maneira, o texto a seguir encontra-se estruturado em quatro grandes eixos: Discussões sobre o corpo teórico e metodológico da química; Reflexões sobre o realismo na química; Redução da química à física; e Questões sobre estética, ética e imagem pública da química. Em seguida, são apresentados os trabalhos relativos ao ensino de química, e as considerações finais sobre o conteúdo do levantamento bibliográfico realizado.

Filosofia da Química

a. Discussões sobre corpo teórico e metodológico da química

Os trabalhos analisados discutem diversas características da teoria e metodologia da química, além de colocarem em discussão como o corpo de conhecimento dessa ciência é construído. De modo geral, os artigos agrupados neste eixo problematizam a relação teorias-evidências experimentais, enfatizando o aspecto dual da química, que opera com a livre transição entre os fenômenos macroscópicos e as entidades teórico-conceituais (ou submicroscópicas).

Bernal e Daza (2010), Stein (2004), Laszlo (1999) e Schummer (1997a) sustentam que o corpo teórico da química é relacional e emerge dos dados experimentais. Bernal e Daza argumentam que, por exemplo, para designar o que é um ácido, é necessária a comparação de uma substância com outra. Stein acrescenta que, dependendo do ambiente químico em que a molécula se encontra (condições operacionais, tais como temperatura, solvente etc.), haverá variação na estrutura molecular e assim, variação na propriedade da substância. Laszlo denomina as relações do tipo que existe entre ácidos e bases de “conceitos circulares” na teoria química. As operações experimentais reais dão ênfase aos conceitos criados pelo pensamento químico, relacionando os reagentes químicos em contextos variados. Assim, Laszlo defende que os químicos têm a tendência de mesclar o que é percebido empiricamente com o que está postulado por sua mente. Laszlo ressalta, então, que essa circularidade, que se baseia em interações entre operações experimentais e teóricas, destaca a química das outras ciências. No entanto, essa particularidade também exige maior amadurecimento por parte de quem está estudando esta ciência. Tal conhecimento, baseado nesse relativismo, torna a química mais complexa do que outras ciências mais dedutivas (exemplo: astronomia, anatomia etc.). Schummer também discorre sobre o caráter relacional da química, defendendo que essa ciência utiliza métodos experimentais para definir suas classificações. Sendo assim, Schummer advoga que as propriedades dos materiais da química são classificadas pelas condições experimentais (fatores contextuais), e não pelo comportamento do objeto, como na física¹. Desse modo, há teorias da química que não podem ser falseadas (no sentido popperiano), pois não são regidas por universais, e sim por um dinamismo (ou seja, a propriedade muda

¹ Salientamos aqui que, dentro da física, há diferentes perspectivas filosóficas, sendo entendidas as referências à “física” ou aos “físicos”, neste trabalho, aquelas que adotam a perspectiva instrumentalista, predominante nos cursos de física.

dependendo de com o que se compara), havendo a possibilidade de refinamentos e suplementações na teoria.

Diante dessa discussão sobre o corpo teórico da química, surgem os argumentos embasados no pragmatismo químico. Vemulapalli (2008) e Berson (2008) argumentam que os químicos escolhem as teorias mais convenientes para cada situação. Vemulapalli examina a utilização e importância dada, pelos químicos, às teorias de ligação de valência e de orbitais moleculares. Ele observa que, mesmo sendo teorias contemporâneas, a teoria de valência foi preferida pelos químicos, e a teoria de orbitais moleculares foi quase ignorada. Segundo Vemulapalli, uma possível explicação para essa preferência seria que a teoria de valência – que proporcionava aos químicos uma visão rápida das propriedades, porém mais localizada em partes de uma molécula – era suficiente para explicar os fenômenos estudados naquela época. Berson (2008) examina casos históricos (teoria quântica de Bohr para o espectro atômico; o princípio de exclusão de Pauli; a teoria que correlaciona a velocidade de reações com o equilíbrio químico; e a hipótese de Kekulé sobre as ligações oscilantes do benzeno) para argumentar que os químicos não dão muita atenção para as fragilidades das teorias, desde que elas sejam úteis. Assim, quando surgem fatos empíricos não previstos, os químicos somente fazem correções às teorias de forma *ad hoc*, em vez de abandoná-las, diferentemente do que recomendam alguns filósofos da ciência.

Deve-se observar, todavia, que esse pragmatismo está relacionado aos papéis da experimentação e das teorias na química, e não a uma imaturidade ou inferioridade dessa ciência. Schummer (2004), examinando 300 artigos de pesquisa em química, conclui que a atividade experimental dos químicos, diferentemente da dos físicos, de modo geral não tem como objetivo o teste de teorias. A experimentação, para os químicos, está voltada para a síntese e a análise químicas, e as teorias servem como ferramentas para a pesquisa experimental. Kovac (2002) defende que o raciocínio prático dos químicos os faz considerar eventualidades na situação explorada, enquanto o raciocínio somente teórico focaliza universalidades. Desse modo, na química, o foco está na experimentação. Em virtude disso, quanto maior a experiência do químico em atividades práticas, maior sua intuição prática e maior sua desenvoltura em analisar sistemas não ideais (sistemas não teóricos).

Em 2003, Knight, investigando as imagens em livros didáticos de química, constatou que a química tem como eixo central a experimentação. Ao longo do tempo, o autor encontrou, nos livros, imagens com ilustrações de aparatos acrescidas de indicações visuais de evidências experimentais. Avançando mais no tempo, além da representação de como os experimentos eram feitos, foram adicionadas representações de modelos teóricos às ilustrações. Com isso, as imagens reforçam o caráter dinâmico da química, ou seja, a transição entre a evidência experimental e a teoria. Weininger (1998) faz um levantamento histórico sobre os “signos químicos”, e observa que os signos diminuíram em seu caráter linguístico (nomes) e aumentaram em seu caráter icônico (fórmulas e estruturas moleculares) ao longo do tempo. Lefèvre (2012) compreende que a prática química está relacionada à complexidade da preparação dos procedimentos requeridos para obter seus objetos de pesquisa. Esse autor coloca em evidência que a experimentação na química não serve somente para isolar e identificar objetos, mas também produzir seus objetos. Sendo assim, a química não consegue estudar seus objetos sem produzir novos objetos.

Schummer discute com mais detalhes a questão da produção de novos objetos, em dois artigos (1997b e 1997c). Nesses dois trabalhos são apresentados dados sobre o número crescente de substâncias químicas conhecidas entre os anos 1800 a 1995, coletados a partir de manuais, artigos de pesquisa em química e patentes. Sua análise apontou para a característica acumulativa da ciência química, pois a sua maior atividade é produzir novas substâncias e não avaliar teorias. Desta maneira, a produção de novas substâncias contribui para o desenvolvimento dos procedimentos e manipulações experimentais. Isso requer a produção de mais novas substâncias, guiadas pela melhoria nas habilidades de preparação (aprimoramento de instrumentos; métodos experimentais e teóricos). Há também uma grande valorização da aplicação em um sentido mais amplo: novas substâncias trazem novas expectativas sobre a sua utilidade em várias tecnologias, ou sobre suas propriedades físicas e ou biológicas. Em outro trabalho, Schummer (2010) sugere que a metodologia plural da química (cada área da química adapta suas metodologias, o que permite lidar com a complexidade de abordagens de acordo com o que importa em cada caso estudado) resulta na construção do conhecimento químico de maneira análoga à produção de uma “colcha de retalhos” (p.163). Isso significa que a química tem a tendência a se desenvolver pela incorporação de novos conhecimentos, sem entrar em crises² de teorias, aumentando sempre a “colcha”. Portanto, a química não está em sintonia com a ideia da filosofia da ciência tradicional, de que a ciência busca se completar e se aperfeiçoar para obter o conhecimento universal.

Uma ideia semelhante é desenvolvida por Baird (2002), ao analisar a revolução da química analítica, ocorrida entre as décadas de 1920 e 1950, e que não ocorreu na teoria, mas na prática e na profissão do químico. Houve mudanças nos limites do que é possível analisar; desenvolvimento de novos instrumentos; desenvolvimento de um novo modo em disseminar informações sobre instrumentos científicos. Adicionou-se, então, um novo tipo de conhecimento científico à química: a instrumentação científica. Diferente das revoluções científicas discutidas por Kuhn, nesta revolução em uma subárea da química, a instrumentação surge como um veículo para conduzir o conhecimento. Sendo assim, os métodos instrumentais se tornaram a espinha dorsal da caracterização e separação das substâncias químicas, o que também levou ao encarecimento da atividade química. Outro trabalho relevante, sobre a revolução da química analítica, é o de Schummer (2002), o qual argumenta que o impacto da instrumentação na química repercutiu em nível ontológico³. Isso quer dizer que o maior peso dos resultados instrumentais influenciou no entendimento do que é a estrutura molecular, que passou a ser propriedade de uma substância química. Porém, substâncias são ontologicamente anteriores às propriedades: não há propriedades sem substância. Com isso, as estruturas moleculares são agora espécies cuja identidade deve ser determinada, estando sujeitas a classificação química.

Tontini (2004) observa que, a partir da compreensão de como se determinam as propriedades das estruturas (por meio de transformações de substâncias), a química

² No sentido usado por Thomas Kuhn (1998), em *A estrutura das revoluções científicas*.

³ Ontologia remete à discussão sobre a natureza do mundo ou o que existe (Pessoa, 2009). Sendo assim, a ontologia química está ligada a discussões das entidades e teorias químicas: por exemplo, se átomos e moléculas têm somente natureza teórica/explicativa, sendo apenas ferramentas conceituais para nós; ou se átomos e moléculas existem, independente do nosso pouco acesso a essas entidades.

desenvolveu, ao longo da história, uma linguagem teórica específica, para mediar a realidade empírica e a inteligência humana. Com o aumento no número de substâncias produzidas em laboratório, os químicos refinaram o corpo teórico e aumentaram o caráter real das suas representações, adicionando dinamicidade (movimento) a fórmulas estruturais e formalizando mecanismos de reação. Porém, Ramsey (1997) observa que, em situações diversas, os químicos utilizam diferentes fórmulas estruturais, que são representações diferentes para a mesma propriedade, dependendo da conveniência. Isso sugere que existem modos de visualizar que são independentes da medição, e que podem ser alterados à vontade. Não é o caso de coexistirem teorias incompatíveis, e sim a questão da aproximação das teorias e modelos na química. É interessante notar que essa característica não tem valor pejorativo. Segundo Weisberg (2002), a química dispõe de modelos qualitativos para embasar suas explicações. Os modelos qualitativos sobre a estrutura molecular não são precisos: sua simplicidade, porém, aumenta o poder explicativo dos modelos (permite maior generalização). Se os modelos não fornecem com muita precisão a geometria molecular, podem explicar por que as moléculas assumem determinada forma.

Em suma, os trabalhos enfatizam que a química, atualmente, tem um caráter particularmente visual na manifestação de suas teorias. Essa valorização das representações pictóricas da teoria, juntamente com a mudança das características dos laboratórios e as evidências produzidas a partir destes, fez aflorar um caráter de realidade para as entidades submicroscópicas da química, o qual será discutido na próxima sessão.

b. Reflexões sobre o realismo na química

Como visto na sessão anterior, a natureza teórico-prática da química tangencia a questão do realismo das entidades químicas, pois as evidências experimentais corroboram as estruturas teóricas propostas. Grande parte dos trabalhos sobre esse assunto traz argumentos baseados no crescente desenvolvimento de novos materiais e no surgimento de novas tecnologias para medição e simulação. Como se verá adiante, a síntese e os equipamentos influenciam no modo como os resultados e teorias da química são entendidos.

Del Re (2000; 1998) discute o aumento do nível de acesso ao objeto da química, por meio de equipamentos de medição (constituindo o nível de acesso direto estendido). Com o desenvolvimento dos equipamentos, houve o aumento na confiança acerca do que é observado, ainda que essas observações estejam baseadas em inferências ou analogias. Os modelos partem do pensamento analógico para tentar representar os sistemas ou coisas do mundo. Para Del Re, as analogias têm algumas propriedades equivalentes ao real, sendo, assim, verdades limitadas. Portanto, se o modelo estrutural abrange algumas propriedades das moléculas reais, os modelos são expressões da realidade. Além do mais, a maioria dos experimentos dão resultados que concordam com a suposição de que as moléculas têm estruturas correspondentes a esses modelos. Com isso, não é a matemática da mecânica quântica que exprime o que existe e o que não existe no mundo das entidades não diretamente visíveis. De fato, acredita-se que essas entidades existem, como decorrência de evidências analógicas e lógicas oriundas das observações experimentais. Tontini (1999) acrescenta que as anomalias e imprevistos experimentais levam ao refinamento, ainda maior, do conhecimento sobre a realidade molecular. Além disso, para a elucidação de

estruturas moleculares, as substâncias investigadas são submetidas a diferentes métodos analíticos (técnicas baseadas em diferentes princípios, tais como RMN, infravermelho e espectrometria de massas). Com a obtenção de resultados convergentes, a ideia da existência real da estrutura molecular é, então, reforçada.

Investigando o papel dos modelos na pesquisa química em laboratório, Francoeur (2000) segue perspectiva semelhante, acrescentando que os modelos são úteis, pois materializam (tornam concretos) os sinais oriundos da instrumentação. No entanto, Francoeur ressalta que os modelos não são simplesmente observados no laboratório. Muitas vezes, eles são submetidos a várias manipulações de medição e de exame, para que possam ser mais trabalhados e elaborados no processo de investigação, sendo, assim, de uma materialidade não definitiva.

Laszlo (1998; 2000) entende o surgimento e utilização de novos aparatos de medição como uma tendência à desmaterialização do conhecimento químico. O autor defende que os instrumentos aumentaram a sensibilidade de medição, mas se distanciam da realidade, ao substituírem as percepções imediatas (cor, textura, volatilidade etc.) por entes microscópicos idealizados. Com isso, Laszlo afirma que a única realidade é o registro do espectro, que é uma linguagem associada a um significado, ou seja:

Na análise espectral não estamos lidando com um acoplamento arbitrário entre o signo e o que está sendo representado. Ao contrário, existe uma base intrínseca para tal associação, ambos empíricos e necessários: um pico dado, a uma certa frequência e de uma certa forma, no espectro de RMN de etanol, significa metila, não porque eu quero que seja assim, mas porque é realmente assim. O único aspecto arbitrário, aqui, é denominação do termo "metila" para este grupo de átomos, CH₃ (LASZLO, 1998, p. 5).

O modelo molecular tem semelhança com uma realidade postulada, misturando convenções com fatos e, deste modo, tem um grande papel operacional. Assim sendo, o laboratório na química é entendido por Laszlo como sendo o lugar onde, além de se produzir novas substâncias, são produzidos, principalmente, novos conceitos. Em artigo de 2002, Laszlo menciona que os instrumentos influenciam o realismo ingênuo que repercute, além da desmaterialização, também a destemporalização: considerando as estruturas moleculares como um objeto estático e rígido, apaga-se a dimensão do tempo. Sendo assim, a estrutura de uma molécula fica em um período de tempo alheio às evidências instrumentais e experimentais.

Tomasi (1999) argumenta que, com o entendimento da estrutura molecular acompanhado de evidências experimentais, a química transformou, ao longo dos anos, seus modelos simbólicos (não matemáticos e abstratos) em modelos com estatuto icônico. Assim, há um movimento que parte de modelos e se acredita aproximar, gradualmente, dos objetos reais. Segundo Tomasi, uma estrutura do tipo bola-e-vareta não pode ser considerada como um modelo de um modelo, mas um modelo icônico de um referente real. Grosholz e Hoffmann (2000) acrescentam que a linguagem icônica dos químicos emprega convenções compreensíveis do objeto e associações com a linguagem simbólica. A linguagem mais simbólica da química capta a composição das moléculas, mas não a sua estrutura (constituição, configuração e conformação), aspectos que são tratados melhor pela linguagem mais icônica. Sendo assim, a forma icônica faz uma ponte entre o macroscópico e o submicroscópico, tornando o invisível,

visível. Em outro trabalho, Hoffmann (2007) acrescenta que a manipulação das transformações químicas ajuda a reforçar esse realismo do químico. Segundo Hoffmann, é difícil não acreditar que a estrutura de um composto é mesmo de uma determinada forma se, a partir daquela estrutura e propriedades conhecidas, se consegue prever a formação de outra substância e, logo após, se consegue sintetizar essa nova substância e ter evidências experimentais de que a estrutura prevista foi alcançada.

Burewicz e Miranowicz (2003) defendem que a multidimensionalidade é uma característica das representações na química, a qual facilita a análise e a síntese. Tipicamente, os pesquisadores em química coletam parâmetros de reações, e o tratamento desses dados resulta em espectrogramas, gráficos, estruturas e modelos. Esses parâmetros são incorporados nas representações, com várias dimensões para a visualização: as equações químicas e fórmulas moleculares são representadas em uma dimensão física; os esquemas de mecanismos de reações utilizam duas dimensões; estruturas geométricas são representadas em três dimensões; e mecanismos que consideram parâmetros estéticos são representados em quatro dimensões (três dimensões espaciais e uma no tempo, dando uma descrição dinâmica). Com isso, quando o químico consegue visualizar um objeto, ele frequentemente o considera como o objeto real.

Também nessa perspectiva de símbolos/linguagem e evidências experimentais, Jacob (2001) enfatiza que o simbolismo químico fornece uma representação linguística para a pesquisa experimental química. No entanto, a linguagem química promove, mas também limita, o desenvolvimento experimental. Em outras palavras, o potencial da linguagem química ultrapassa o experimental, quando dispomos da sintaxe química para escrever a fórmula, descrever a estrutura e propor a nomenclatura de um composto que, *a priori*, não existe. Entretanto, em alguns casos, é a potencialidade experimental que excede a capacidade da linguagem, se porventura surgir uma evidência experimental que não é prevista pela linguagem química (exemplo disso foi a controvérsia surgida por ocasião da preparação do fulereno, C₆₀). Em virtude disso, Jacob conclui que os químicos devem estar mais conscientes dos limites da linguagem e da experimentação, e refletir sobre qual o papel da operação sobre compostos ou sobre a linguagem.

Mainzer (1997) defende a perspectiva realista na química, argumentando que os modelos computacionais e a realidade virtual ampliam a imaginação dos químicos. Os programas de computador fazem com que se abram caminhos para outras pesquisas experimentais, com menor gasto de tempo e dinheiro. Mas Mainzer ressalta que as simulações não competem com a atividade experimental tradicional e obrigatória. Trindle (1999) acrescenta que a modelagem computacional também persuade os químicos, e essa aceitação aumenta a intuição deles.

Zeidler (2000) reconhece que, sem a prática experimental, a pesquisa teórica não conseguiria construir os modelos teóricos. Zeidler defende um antirrealismo moderado, em defesa da dinamicidade dos modelos. De acordo com Zeidler, para o mesmo objeto ou sistema, há vários modelos com possibilidades de representá-lo, pois isso depende do problema investigado. Isso porque os dados sobre o sistema, como resultado de medições, dependem da teoria e dos procedimentos de medida. Como consequência, a similaridade entre o modelo e o sistema real não pode ser determinada, pois cada método experimental interage de forma diferente com

entidades submicroscópicas, fazendo emergir a necessidade de modelos diferentes. Zeidler enfatiza que a mesma propriedade pode ser representada diferentemente, adequando-se às circunstâncias – portanto, não há um único modelo. No entanto, Zeidler está ciente de que é comum, entre os químicos, aceitar a interpretação realista, porque o modelo dinâmico supõe idealizações, e não serve heurísticamente, nem explicativamente, nem preditivamente em química experimental; e tampouco serve educacionalmente, pois não tem uma representação concreta.

Para tentar explicar a preferência dos químicos pelo realismo, Good (1999) argumenta que um consenso em torno da existência dos átomos foi estabelecido entre os químicos, muito antes do que entre os físicos. Desde esse consenso, a química tem empenhado seus pensamentos em termos de átomos. Good acrescenta que o desprezo dos químicos pela filosofia de ciência pode ser uma reação contra a concepção tradicional dessa disciplina, que não leva em consideração as particularidades da química. Vihalemm (2011) argumenta que o realismo dos químicos não é o ingênuo, e sim o prático. A prática científica acessa, via experimento – que manipula e interfere nos materiais da natureza – o mundo real, sendo guiado por uma teoria, e regido por normatizações. Nesse sentido, o que é "dado", via prática química, é um aspecto do mundo real.

c. Redução da química à física

Uma discussão, que reúne questões sobre as características da química e sobre o realismo, é a que trata da redução (ontológica ou epistemológica⁴) da química à física. A maior parte dos artigos citados nesta sessão faz referência ao submicroscópico, particularmente no que tange às entidades e à natureza dos fenômenos que, à primeira vista, parecem ser compartilhados pelas duas ciências. No entanto, a maioria das opiniões se inclina em direção à não redução da química à física.

Na tentativa de resistir à redução physicalista, Schummer (1998) estruturou o conhecimento químico como se fosse uma rede, e colocou, como núcleo central, as propriedades químicas – que são relacionais e determinam a lógica do conhecimento químico em todos os níveis educacionais. Essas propriedades são investigadas e sistematizadas por experimentos em diferentes contextos, artificiais ou naturais. Segundo Schummer, a representação molecular não é uma teoria, mas o resultado da teoria: esta fornece as regras para interpretar os dados e desenvolver representações moleculares. Na analogia com a rede, as classes de substâncias seriam como os nós, e as relações entre as classes seriam como conexões, sistematizando as propriedades químicas. Com essa rede de relações, a química, então, se diferenciaria da física, pois a física segue a abordagem de “objetos isolados”.

Mainzer (1997) também se baseia na ideia de isolamento de objetos na metodologia da física. Ele descreve que a mecânica quântica opera sobre átomos como peças separadas, enquanto a química opera considerando a maneira como os átomos estão organizados e relacionados uns com os outros. O arranjo dos átomos nas moléculas

⁴ Redução ontológica se refere à dependência das entidades, propriedades e regularidades de um estrato da realidade, sobre as entidades, propriedades e regularidades de outro estrato ontologicamente mais fundamental; e redução epistemológica se refere à relação entre as teorias científicas: uma teoria é deduzida de (e reduzida a) outra teoria mais fundamental (LABARCA; LOMBARDI, 2005). Sobre o reducionismo, do ponto de vista da filosofia da ciência, vide Nagel (1982).

influencia suas propriedades, como no caso dos isômeros. Então, aspectos dinâmicos e complexos do sistema molecular, em reações químicas, não podem ser explicados olhando-se para cada átomo isoladamente.

Com a mesma preocupação de entender qual o papel das teorias quânticas na química, Caldin (2002) defende que teorias químicas são construções, e não deduzidas a partir das teorias físicas. As teorias químicas vão além de representar as leis que interpretam. É o caso da teoria atômica, ou da classificação de substâncias puras em elementos e compostos, por exemplo. Dessa forma, a maioria dos químicos está mais satisfeita com os modelos construídos, que podem ser desenhados no papel, ou manipulados com esferas e molas, do que com cálculos, feitos a partir de leis, que resultam em orbitais – embora os químicos saibam que a estrutura do benzeno, por exemplo, pode ser corretamente deduzida a partir das duas perspectivas.

Outros autores fazem referência às diferenças entre o conceito de orbital utilizado pelos físicos, e o conceito de orbital de que os químicos fazem uso. Mulder (2011) explora a ideia de que orbitais físicos não são observáveis porque são estados, e os orbitais em química são entendidos como densidades eletrônicas e, assim, são observáveis. Ogilvie (2011) argumenta a não existência intuitiva de funções de onda (orbitais), mas admite que se pode medir experimentalmente as propriedades dos átomos e moléculas. Nesse contexto, o argumento de Hendry (1999), que adota uma abordagem histórica, mostra que a espinha dorsal da teoria molecular (relacionada às propriedades das moléculas e átomos) provém da química do século XIX, tendo sido postulada antes do advento da mecânica quântica.

Ramberg (2000), também se fundamenta na história da química para afirmar que a construção e utilização de modelos de representação é uma atividade central na formação da teoria química. Ramberg exemplifica seu ponto de vista expondo o caso da estereoquímica. Com uma linguagem simbólica para as propriedades tridimensionais dos arranjos de átomos, os químicos foram capazes de explicar o fenômeno da isomeria e postular mecanismos de reação. Com isso, os químicos passam a acreditar que os arranjos tridimensionais são as possíveis formas das moléculas, e não simplesmente um instrumento de previsão.

Labarca e Lombardi (2005) utilizam o argumento do “pluralismo ontológico”, que tem como base o realismo químico, para defender a não redução ontológica da química à física. Segundo os autores, não existe uma ontologia mais fundamental, e sim ontologias que são características de cada ciência. Com isso, o químico atribui um estatuto ontológico mais realista para os orbitais. Então, não há contradição na concepção de orbital como sendo entidade existente no nível ontológico químico, mesmo considerando que os orbitais não são entidades reais de acordo com a ontologia da mecânica quântica.

Scerri (2005), por sua vez, também sugere uma visão realista, tendo, porém, como foco, a tabela periódica, alinhando argumentos de natureza metafísica e ontológica para a não redução da química à física. Com a exposição e análise, em uma abordagem metafísica, de várias definições de elemento, Scerri propõe que os grupos de elementos, bem como os elementos em si, são portadores de propriedades e, portanto, reais.

Em 1991, Scerri defendeu a não redução epistemológica da química, pois as teorias físicas baseiam suas previsões em modelos matemáticos, enquanto a química se baseia em classificações relacionadas a qualidades da matéria (por exemplo: cor, cheiro, textura etc.). Além disso, os conceitos classificatórios da química são usados como meio de representação das substâncias (por exemplo: ácido, elemento etc.). No entanto, essa classificação, diferentemente da classificação dos organismos da biologia, ajuda os químicos na investigação e classificação de substâncias novas.

Schummer (2003b) examina controvérsias históricas do século 19 (a natureza da fermentação; a natureza de doenças infecciosas; geração espontânea de matéria inanimada; vitalismo) para defender que a interdisciplinaridade está disfarçada pela perspectiva reducionista dos filósofos da ciência. No artigo, o autor conclui que três controvérsias (fermentação, doenças infecciosas, geração da vida) eram interdisciplinares no sentido de que pesquisadores de diferentes disciplinas estiveram envolvidos e, independentemente da sua origem disciplinar, utilizaram e aceitaram métodos experimentais de origens disciplinares diferentes como elementos válidos cientificamente.

Em outro artigo, Schummer (1997d) também defende o não reducionismo da química à física, mas agora examinando a subdisciplina físico-química. Ele argumenta que essa subdisciplina não integra a química com a física: somente relaciona algumas teorias das duas ciências, criando um híbrido. Para sustentar esse argumento, Schummer esclarece que a físico-química tenta explicar a diversidade dos materiais em termos quantitativos (uma característica tipicamente física), mas usa o pluralismo pragmático de modelos (característica química); utiliza instrumentos e técnicas físicas para buscar as peculiaridades dos materiais e não propriedades universais, pois não está preocupada com leis, teorias ou modelos universais. Então, a físico-química, com seu pluralismo pragmático de modelos, submete os modelos ao aperfeiçoamento e à adaptação, e a testes cruciais (físicos), levando ao surgimento de novos modelos, que combinam conceitos de teorias físicas e químicas, criando uma interface entre as duas ciências.

Outro trabalho sobre o reducionismo é o de Cerruti (1998), que articula a distinção ontológica, analisando a prática experimental de químicos e físicos. Cerruti confronta essas práticas por meio de um exemplo: tendo uma amostra de sacarose, o químico pode dar uma colher dessa substância e algumas regras de uso adequado (por exemplo, utilizar em alimentos ou em uma fermentação) para um colega. Com isso, amostras de substâncias podem ser transferidas de um laboratório para outro. No entanto, físicos de alta energia (os que trabalham com partículas de alta energia e núcleos de átomos), trabalham, por exemplo, com decaimentos do méson J/psi, e assim, não conseguem dar uma “colher” (p.14) desse fenômeno para outro laboratório. Com isso, Cerruti conclui que a diferença da química para a física é que a física tem o objetivo de criar fenômenos, enquanto a química tem como objetivo produzir substâncias. Na química, os reagentes são os principais instrumentos de separação e purificação, para operar no nível macroscópico. Mas, para completar tal operação, os químicos necessitam do auxílio de solventes, que criam, ou modificam, as condições experimentais; e de indicadores, que permitem fazer medições.

No entanto, Scerri (2007a) entende que existe a redução epistemológica da química à física, reconhecendo a contribuição quantitativa da química quântica para o corpo de conhecimentos da química. Mas Scerri argumenta contra a redução ontológica em

uma perspectiva emergentista, que considera a existência da singularidade em conjuntos complexos, impossibilitando que suas propriedades sejam deduzidas do conhecimento de suas partes. Com isso, a física não dá conta das propriedades manifestas das substâncias. Exemplificando essas propriedades manifestas com um excerto do texto de Scerri:

[...] os átomos de hélio, com dois prótons e dois elétrons, são totalmente não-reativos, enquanto a adição de apenas um próton e um elétron produz átomos de lítio, um elemento que forma uma multiplicidade de compostos, e que reage com água para formar uma solução alcalina (SCERRI, 2007a, p.78).

d. Questões sobre estética, ética e imagem pública da química

Em questões relacionadas a características dos químicos e sua relação com a ciência e a sociedade, a comunidade de cientistas químicos pode não estar refletindo sobre os aspectos éticos, sociais, estéticos e ambientais que o conhecimento químico implica. Por isso, enfatiza-se que essas questões precisam de maior consideração por parte dos químicos.

d.1. Estética: o que a ciência química tem de especial para chamar a atenção da sociedade e da comunidade química

Schummer (2003c) investigou sistematicamente o potencial estético dos produtos químicos, que caracterizou em materiais, moléculas, e modelos moleculares. Schummer argumenta que a química contribui para as formas estéticas com a produção de novos materiais (plásticos, corantes, cheiros e sabores etc.). Mesmo não sendo visíveis diretamente, as moléculas também contribuem para a estética química. Como os químicos, frequentemente, não distinguem claramente as moléculas de suas representações, as reivindicações para a beleza das moléculas remetem à beleza dos modelos. Por isso, Schummer focalizou a caracterização estética nos modelos, utilizando o termo “modelo molecular” para denotar objetos perceptíveis que são produzidos para representar ou para ilustrar estruturas moleculares ou ideias (tais como: desenhos, modelos de bola-e-vareta, computação gráfica etc.). A partir de uma perspectiva sugerida por trabalhos de Umberto Eco, Schummer explica que os modelos moleculares são esteticamente atraentes porque se assemelham a coisas da vida comum, o que facilita a pesquisa química. Com isso, o autor põe em evidência a existência de aspectos estéticos, tanto externos quanto internos, gerados pelos produtos químicos. No caso particular dos químicos, esses aspectos, como Root-Bernstein (2003) também sugere, motivam as escolhas de suas áreas de pesquisa, pois as formas, cores, cheiros e sabores motivam seus interesses, como a sociedade em geral se motiva.

Schummer e Spector (2007) e Laszlo (2003) desenvolveram seus argumentos sobre a estética química, baseados na dualidade dessa ciência. Schummer e Spector focalizaram as várias personalidades da química: ao mesmo tempo acadêmica e industrial, conceitual e aplicada. Para Laszlo existe o natural e artificial; invisível e visível; complexo e simples; imprevisível e lógico. Ele entende que a química tem sua estética marcada principalmente por suas entidades invisíveis, propostas para dar conta de mudanças visíveis. Para isso, o químico utiliza uma linguagem icônica simples, para expressar conceitos complexos e explicar fenômenos ainda mais complexos. No

entanto, Laszlo salienta que os químicos desenvolveram uma linguagem interna, e muito peculiar, o que dificulta a aprendizagem por parte dos alunos, especialmente daqueles que não irão se tornar futuros químicos.

d.2. Imagem pública: como a química é vista pela sociedade, e porque a comunidade científica ajuda a criar essa impressão

LaFollette (2006) investigou os valores manifestados nas publicações da agência de notícias *Science Service*. Essa organização procurou promover a discussão da ciência, através de artigos de jornais, livros e programas de rádio, de uma forma que fosse aceitável para os cientistas e ainda rentável para as editoras. O autor expõe que, durante os anos 1930, nos Estados Unidos, a química atraiu mais atenção, em virtude do interesse do consumidor nos novos produtos farmacêuticos, têxteis, fertilizantes e inseticidas. A comunidade científica teve uma aceitação pragmática em relação à mídia, talvez supondo que, com participação na comunicação, atrairia apoio econômico e político – considerando preferível que a química fosse vista como um mal necessário, em vez de um inimigo. Dessa forma, a mídia promoveu a popularização dessa ciência por meio da dramatização dos acontecimentos, apresentando cientistas como celebridades, e vinculando a química a uma imagem conectada aos bens de consumo.

Laszlo (2006) mostra que, entre 1950 e 2000, o contexto militar do pós-guerra influenciou várias mudanças na teoria e na prática química, o que refletiu também sobre sua imagem pública. Os químicos passaram de benfeitores da humanidade para praticamente os únicos a serem responsabilizados pela poluição ambiental. Acrescente-se ainda que a atividade dos químicos, neste período, também lidou com uma revolução nas ferramentas de laboratório e tópicos de interesse, mas, mesmo assim, a comunidade de químicos permaneceu em torno de uma linguagem comum: as fórmulas estruturais. Diante desse cenário, há que se ressaltar a adaptabilidade dos químicos, que, na opinião de Laszlo, decorre de sua formação, pois são habituados a acompanhar e controlar transformações de materiais, e, portanto, controlar e acompanhar mudanças até no seu campo de atuação e na sua imagem.

Também preocupado com a imagem pública da química, Sjöström (2007) analisa o discurso da química. Sjöström ressalta que a química tem um discurso apoblematizado, sem reflexão, e que os objetivos da pesquisa e da educação em química não estão claros. O discurso da química está baseado em objetivismo, positivismo, reducionismo molecular, e racionalismo, mas tais visões são adotadas sem reflexão a respeito. Com isso, Sjöström defende a integração de perspectivas filosóficas, históricas e sócio-culturais na pesquisa e na educação em química. Tais perspectivas poderiam proporcionar não só uma visão mais crítica e reflexiva aos profissionais da área, mas também a melhora na imagem pública da química. Atualmente, esta imagem está relacionada à neutralidade, à geração de progresso constante, de melhorias para a sociedade moderna e à valorização as entidades submicroscópicas em seu laboratório, em detrimento da vida real.

d.3. Ética: ou a falta de reflexão sobre ela

Schummer (2001) alerta sobre os problemas éticos relacionados à química, tais como pesquisas sobre armas químicas, poluição ambiental, acidentes químicos, "efeitos colaterais" negativos (e não intencionais) de produtos químicos etc. Para exemplificar

essa ideia, Jacob e Walters (2005) usam um estudo de caso sobre o agente laranja, e mostram como a síntese de novas substâncias químicas provoca uma série de problemas éticos e morais. Com isso, os autores almejam maior conscientização dos químicos em relação à síntese de novos compostos, pois estes trazem consigo uma carga de responsabilidade no tocante à segurança e ao monitoramento de sua propagação no ambiente.

Kovac (2001) ressalta outro problema ético relacionado à química, envolvendo a cooperação entre a indústria química e a química acadêmica. A química tem a singular ligação entre a pesquisa pura e aplicada, entre a indústria e a academia, sendo essa ligação intelectual e economicamente benéfica para ambos os lados, sem tensões aparentes. Entretanto, essas relações geram questões importantes, especialmente no que se refere a influências do financiamento privado nas pesquisas feitas nas universidades. Essas questões envolvem a privatização do conhecimento, com a veiculação de artigos em bancos de dados comerciais, e a crescente pressão no sentido de patentear e comercializar os resultados das pesquisas.

Há muitas controvérsias envolvendo a química, mas os artigos sugerem uma aparente apatia da comunidade de químicos. Há necessidade de reflexões de natureza ética para compreender os valores científicos (tanto os valores internos, na forma de como o trabalho científico é realizado; quanto os valores externos, de como a ciência se relaciona com a sociedade em geral). Diante disso, Eriksen (2002) propõe que a formação dos químicos incorpore análises históricas, filosóficas e sociológicas sobre o empreendimento científico, discutindo também os valores que regem este empreendimento. Tal perspectiva propiciaria reflexões éticas que, incorporadas à educação, seriam levadas à prática dos químicos. Se levada a efeito, tal perspectiva poderia servir também para que a sociedade em geral refletisse mais sobre a química.

e. O que é a química? Há um consenso a esse respeito na área de filosofia da química?

Diante da revisão delineada acima, pode-se constatar que a questão filosófica sobre “como a química funciona” é discutida, por diferentes autores, por diversos modos de olhar e refletir sobre a química. Essas diversas tentativas de entender quais são as particularidades da química revelam um campo de conhecimento amplo, produtivo e complexo. Reforça-se aqui a ausência de consenso sobre se a química se centraliza na experimentação; se na manipulação de entidades teóricas ou de substâncias químicas; se os químicos devem ser realistas ou não; ou se a química é ou não redutível à física.

Percebe-se, ainda, uma preocupação crescente, entre os filósofos da química, de promover a inserção dessas discussões na comunidade química e em todos os níveis educacionais. Esses diferentes olhares devem ser divulgados e discutidos, para que haja maior reflexão por parte das pessoas que fazem, organizam, estudam e divulgam a química. Vale notar, ainda, que, embora haja diferentes perspectivas e conclusões, a área de filosofia da química está longe de se esgotar; ao contrário, encontra-se em expansão.

Diante do exposto acima, pode-se notar a complexidade envolvida na tarefa de compreender e delimitar o campo dessa ciência. Assim, ressalta-se a importância de maiores investigações no âmbito de como os químicos lidam com o conhecimento químico, na educação e no dia-a-dia de seus trabalhos e pesquisas, a fim de fornecer

mais subsídios para essas reflexões. Sendo a filosofia da química uma área recente (LABARCA, 2010), a interface entre a filosofia da química e a educação química é, por consequência, ainda mais recente e desafiadora, e será abordada na próxima subseção.

A filosofia da química e a educação em química: uma frutífera interface

O estudo da natureza da química, seus conceitos, modelos, teorias etc., são compartilhados pela filosofia da química e pesquisas em educação química (LABARCA, 2006, 2009). Em virtude disso, a interface filosofia e educação química pode se tornar uma relação frutífera e simbiótica, pois as análises sobre a ciência química, propostas pelos filósofos da química, abrem possibilidades de: a partir do conhecimento dos objetivos da química, direcionar critérios de seleção de conteúdos para ensinar essa ciência (Schummer, 1999); através da investigação dos tipos de questões que orientam as pesquisas químicas, subsidiar a produção de guias para a organização do currículo de química (TALANQUER; POLLARD, 2010); proporcionar um entendimento mais profundo sobre a química, podendo ajudar os educadores a promoverem melhores explicações no ensino dessa ciência (SCERRI, 2007b).

As pesquisas na interface entre a filosofia e ensino de química têm defendido a reestruturação do ensino de química em todos os níveis levando em consideração vários aspectos filosóficos. Para Justi e Gilbert (2002), Earley (2004), Goedhart (2007) e Erduran (2005), essa mudança deve ser iniciada na universidade, onde se formam os professores de ensino médio que perpetuam concepções para alunos, as quais chegam à população em geral. Justi e Gilbert (2002) investigaram o Conhecimento do Conteúdo (sigla CK em inglês) e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo⁵ (sigla PCK em inglês) sobre questões relacionadas à filosofia da química de trinta e nove professores do Brasil e da Inglaterra. Nesse artigo, particularmente, os autores focaram na discussão e análise do estatuto epistemológico dos modelos e modelagem de nove professores universitários de química. Justi e Gilbert sugerem que o ensino superior de química é tradicional: o professor é um especialista que transmite modelos, não atenta para quais modelos os alunos utilizam, e nem propicia momentos de atividade de modelagem com os alunos. Esse tradicionalismo é transmitido ao ensino e aprendizagem nas escolas e, por conseguinte, para a população. O relato apresentado leva à compreensão do papel da universidade na propagação da imagem da química, por meio do seu ensino:

Químicos formados se tornam pesquisadores: a pesquisa filosoficamente instruída deveria ser mais perspicaz do que a pesquisa simplesmente empírica. Químicos formados se tornam professores: o ensino filosoficamente instruído deveria melhorar tanto a qualidade dos futuros químicos quanto a apreciação e a compreensão das ideias químicas pelo público em geral (JUSTI; GILBERT, 2002, p.214, grifo nosso).

⁵ PCK é a habilidade de comunicar o CK para os estudantes (SHULMAN, 1987).

Frente, também, a essa questão, Earley (2004) propõe a reestruturação da disciplina de química geral, dando ênfase à compreensão de aspectos sintéticos, de desenvolvimento e de evolução da natureza. Earley aponta que a disciplina de química geral aborda uma obsoleta natureza da química. Assim, em vez de a disciplina focar principalmente a análise de componentes microscópicos prontos, a química introdutória deveria enfatizar um sistema conceitual mais geral que tenta entender como o mundo funciona. Earley defende que esta abordagem daria uma boa preparação para o trabalho do futuro profissional, além de fazer uma conexão melhor com os interesses dos estudantes.

Goedhart (2007) defende que a síntese, a análise e o desenvolvimento de teorias são os princípios organizadores do trabalho químico, e por isso devem ser temas centrais para organizar um currículo de graduação em química. Defendendo a reformulação do currículo atual, Goedhart expõe a necessidade de uma estrutura “projetada para fazer com que o currículo de química corresponda às experiências de químicos reais que fazem a química real” (GOEDHART, 2007, p.972).

Com a mesma preocupação de modificar o ensino superior de química, Erduran (2005) apresenta o estudo da química da água permeado pela discussão reducionista, para o ensino médio e superior de química. Segundo a autora, a química da água envolve o exame minucioso da composição, estrutura molecular e ligação química, além da reflexão sobre as características microscópica, macroscópica e simbólica do estudo dessa substância. No entanto, a adesão a essa atividade implica na reestruturação, principalmente, do ensino superior, onde é escassa a explicitação de controvérsias sobre a teoria química. Um exemplo apresentado por Erduran são os livros didáticos convencionais utilizados nesse nível, que, quando iniciam as explicações mecânico-quânticas, presumem que essas explicações não são controversas, não promovendo a compreensão mais profunda desse conceito.

Essas controvérsias mecânico-quânticas são debatidas, principalmente, nos trabalhos sobre o reducionismo, que discutem muitos aspectos importantes para a educação química (Scerri, 2000a). Tal discussão, se incorporada ao ensino, pode refletir sobre o entendimento de “como” e “o que” ensinar em química, principalmente no ensino superior, onde são formados profissionais capazes de produzir e modificar o conhecimento químico. Kaya e Erduran (2011) observam que a perspectiva reducionista no ensino de química exclui outras possibilidades, podendo dificultar o ensino e a aprendizagem da natureza do conhecimento químico, que é distinto do conhecimento da física. Sendo assim, eles enfatizam a necessidade de o ensino de química visar o enriquecimento da linguagem e dos níveis de representação da química. Além disso, defendem que a utilização do conceito de circularidade, proposto por Laszlo (1999), impede que o raciocínio dedutivo seja enfatizado, como ocorre no ensino da física.

Talanquer (2011a) também argumenta que a adoção da física como ciência paradigmática frequentemente conduz a química a um estatuto subalterno, ou seja, as teorias, modelos e modos de pensar da química seriam menos corretos e importantes que os da física. Assim, a suposição de que o conhecimento químico pode ser reduzido a leis e princípios da física reforçaria a convicção de que somente têm valor os modelos e teorias químicas que podem ser expressos em termos físico-matemáticos. Ou seja, a perspectiva reducionista impactaria no ensino de química, resultando na ênfase em

quantificações, cálculos e aplicação de algoritmos, em detrimento de aspectos qualitativos, relacionais e classificatórios que são essenciais no conhecimento químico.

Erduran e Scerri (2002) sustentam que reflexões filosóficas sobre o reducionismo aprofundam o conhecimento sobre a natureza das explicações químicas e sobre como este conhecimento é gerado e avaliado, o que possibilita a melhora na compreensão dos alunos sobre conceitos-chave da química. Nessa perspectiva, eles defendem que a questão da redução suscita várias questões sobre a estrutura do conhecimento químico. Para a promoção da incorporação de questões como a redução, Erduran e Scerri concluem que os professores de química precisam saber como o conhecimento disciplinar é estruturado e, portanto, estudar filosofia da química, para saber como melhor ensinar.

Para melhorar o entendimento da química, Erduran e colaboradores (2007) e Erduran (2001) enfatizam que se faz necessária a compreensão do processo de modelagem. Isso porque o raciocínio químico utiliza modelos, e estes são utilizados para relacionar o nível macro com o microscópico. No entanto, as aulas tradicionais de química não explicitam como o processo de modelagem ocorre. Em vez disso, nessas aulas são enfatizados somente os resultados conceituais, como se esses conceitos fossem fatos declarados, sendo a única alternativa do estudante memorizar os conceitos (ERDURAN, 2001). Uma alternativa para entender a relação entre o macro e o microscópico seria a inserção dos argumentos pela perspectiva da superveniência, que destaca a relação assimétrica entre os níveis microscópico e macroscópico (ERDURAN et al., 2007). Assim, para haver mudança nas aulas de química, é necessária a inserção de tópicos de filosofia da química na formação de professores, principalmente aspectos conceituais e epistemológicos sobre a relação entre o macro- e o microscópico, para que, conseqüentemente, haja melhora na compreensão de conceitos de química pelos estudantes (ERDURAN et al., 2007).

Outro trabalho pertinente ao tema modelagem na química é o de Treagust e Chittleborough (2001), os quais defendem que a química se baseia em dar sentido ao invisível e intocável. Desse modo, eles enfatizam o papel da experimentação, principalmente, na explicitação da relação entre as evidências experimentais, os conceitos e os modelos químicos. Em outras palavras, as evidências de reações (produção de gás, calor, mudança de cor etc.), por exemplo, não desvendam (não têm relação intuitiva com) nada sobre o comportamento submicroscópico dos produtos químicos envolvidos, para o não iniciado em química. Assim, a dificuldade em entender a química se instaura, pois as explicações para essas evidências sempre são baseadas no nível submicroscópico.

O trabalho de Fernández-González (2011) se refere a outra relação problemática entre as teorias (entidades ideais) e a correlata realidade empírica na química. Fernández-González investiga o caso das substâncias puras e os reagentes do laboratório, identificando aquelas com entidades ideais, e estes com entidades quasi-ideais. Assim, Fernández-González entende que objetos ideais, como as substâncias puras, são construções mentais dos cientistas. Os objetos quasi-ideais, que são produtos de laboratório, são as entidades às quais temos acesso no mundo real, e cujas características se aproximam das entidades idealizadas, uma vez que são criados com essa intenção. Com isso, evidencia-se, mais uma vez, a necessidade de trabalhar questões epistemológicas e ontológicas da química, o que pode dar subsídios para a

distinção dos diferentes níveis entre os quais a química transita, para se estar mais consciente sobre as relações entre esses níveis.

Outra consideração importante sobre as observações experimentais, a transição entre os níveis macro e submicroscópico e o entendimento da química está no trabalho de Talanquer (2011b). Ele explica que, com o surgimento das tecnologias e procedimentos para explorar o “mundo nanoscópico”, houve uma mescla entre o nível empírico – ou descritivo dos fenômenos observáveis –, com os objetos a que os modelos e as evidências se referem. Isso porque os resultados da nanomanipulação incorporaram “realidade” ao nível submicroscópico⁶: não apenas as imagens geradas pelos vários microscópios, como o de força atômica, têm um forte apelo gráfico; mas também os resultados das manipulações corroboram as representações que aparecem na tela dos computadores dos instrumentos.

Em contrapartida, Pozo e Crespo (2009) alertam que a perspectiva realista ingênua no ensino de química pode gerar problemas, por exemplo, quando propriedades macroscópicas são estendidas às entidades teóricas, gerando concepções alternativas acerca do modelo corpuscular da matéria. Outro argumento, nessa mesma perspectiva, é o de Bucat e Mocerino (2009), que ressaltam como necessária a distinção entre a realidade e os modelos e suas representações. Os autores defendem que o uso impreciso da linguagem (pictórica ou verbal) pode ofuscar a distinção entre o comportamento macroscópico e as explicações submicroscópicas. Assim, a correspondência entre modelos e representações pode acarretar na operação sobre fórmulas químicas, em vez de sobre os modelos aos quais elas se referem. Para isso, os estudantes precisam aprender, e os professores e livros didáticos precisam explicar, as convenções e estilos de representações moleculares. Se, no início da aprendizagem sobre a química for feita a distinção explícita das convenções e estilos de representações, posteriormente haverá maior facilidade para a livre transição entre os três “mundos” químicos (macroscópico, submicroscópico e simbólico).

É interessante notar que há uma confusão entre os níveis de representação, manipulação e entidades ideais da química. Erduran e Duschl (2004) mencionam que os modelos de estrutura química têm sido sinônimo da representação de bola-e-vareta, ou seja, sendo relacionados diretamente à visualização, adquirem existência física. Essa necessidade de modelos concretos é interpretada pelos autores, com o auxílio da teoria piagetiana, como sendo uma referência imprescindível para que os alunos do ensino médio entendam conceitos abstratos da química. No entanto, quando existem vários modelos explicativos para o mesmo referente (por exemplo, os vários modelos para ácido), a suposição de realidade dos modelos provoca confusão, pois nos livros didáticos não há explicação sobre por que um modelo difere do outro, e por que não abandonamos um ou outro.

Para investigar a preferência na utilização de um modelo ou de outro, Coll e Treagust (2001), abordaram a compreensão das ligações químicas entre estudantes do nível médio, graduação e pós-graduação em química. Coll e Treagust salientaram que,

⁶ Nível submicroscópico, para Talanquer (2011b) e Bucat e Mocerino (2009), é entendido como sendo o mundo dos modelos, que são entidades ideais, acessadas somente pela imaginação.

mesmo os estudantes de pós-graduação preferem trabalhar com modelos⁷ tridimensionais para suas explicações, justificando a escolha destes por maior familiaridade, ou maior realidade atribuída aos modelos.

Uma alternativa aos modelos concretos, ou analógicos, nos termos de Harrison e Treagust (2000), seria a utilização de múltiplos modelos para entender as entidades químicas e suas interações. Harrison e Treagust sustentam a ideia de que os múltiplos modelos permitem o entendimento mais científico, pois cada modelo engloba uma fração dos atributos do objeto investigado. A utilização de um único modelo, em contrapartida, sugere a necessidade de se encontrar o modelo “correto” – ou o melhor, analogicamente –, podendo então reforçar a ideia de que a ciência produz verdades últimas, o que contraria as posições filosóficas contemporâneas⁸.

A proposta de Harrison e Treagust (2000) se diferencia, no entanto, da proposta de Mortimer (1995; 1997; 2006) relativa à noção de perfil conceitual. Baseado no perfil epistemológico de Bachelard, Mortimer propõe que, para entender um conceito, é necessário considerar a coexistência de várias formas de pensar, chamadas de “zonas” do perfil, caracterizadas com base nos domínios ou contextos a que esse conceito se aplica, inclusive o entendimento de senso comum. Os fenômenos que tentamos explicar, por serem complexos, não podem ser entendidos inteiramente a partir de uma única perspectiva, havendo a necessidade de visões complementares para produzir um quadro mais completo. As diferentes zonas do perfil “são complementares no sentido de que não podem ser aplicadas ao mesmo problema e também não podem, isoladamente, explicar todos os fenômenos químicos” (MORTIMER, 1997, p.201). Essas zonas são investigadas a partir de pesquisas de levantamento de concepções alternativas e da história dos conceitos científicos. Assim, as zonas correspondem a diferentes formas de mediação, a diferentes teorias e linguagens, que traduzem o mundo em suas próprias formas. A altura de cada zona no perfil representa de forma qualitativa a influência de uma determinada característica do conceito. A quantidade de zonas em um perfil é igual para os indivíduos de uma mesma cultura, porém os seus níveis variam, por causa dos compromissos epistemológicos e ontológicos de cada indivíduo, que são influenciados pelas experiências vivenciadas (formação e cotidiano).

Para Araujo Neto (2012), a representação está relacionada a uma entidade química, como no caso da representação estrutural da organização no espaço dos átomos que constituem uma molécula. O conceito de representação na química está diretamente ligado à natureza dos objetos de estudo da química e, portanto, à sua ontologia. Mas, o significado principal da representação na química oscila entre substituição e imitação do representado, não possuindo somente função comunicativa, mas também funções preditivas e explicativas.

Para Justi (2006), o modelo representa uma mediação entre fenômenos e teorias. O modelo tem equivalência à representação, que não exhibe apenas aspectos visuais, mas também aspectos mais abstratos, como é o caso das equações. Assim, a autora

⁷ Modelos, para Coll e Treagust (2001) e Harrison e Treagust (2000), correspondem às representações visuais das entidades da química, construídas pela mente dos químicos.

⁸ Sobre os produtos da ciência, vide Matthews (2012); sobre verdades na ciência, ler Niiniluoto (1999).

expressa que o objeto, a que o modelo/representação se refere, pode ser um fenômeno, ideia, fato ou processo.

Devido à pluralidade semântica encontrada na literatura, a respeito das palavras modelo e representação, Adúriz-Bravo (2012) argumenta que uma teoria científica, sendo constituída por um grupo de modelos que remetem a um sistema empírico que se pretende representar, tem os modelos como mediadores. Os modelos podem ser entendidos como representações do sistema real (perspectiva instrumentalista), ou como substitutos do sistema real (perspectiva realista). Partindo do realismo generalizado entre os químicos da atualidade, no que se refere a teorias e imagens dos modelos atômicos e modelos de ligações químicas, defendemos, no presente trabalho, que os modelos provêm de uma teoria mais geral, descritiva e explicativa, construída a partir de dados experimentais e corroborada pela síntese de compostos. Em virtude disso, é plausível que um modelo seja comunicado por uma equação ou por imagens; mas, seguindo a perspectiva realista, modelo e representação têm significados congruentes, apresentando relação direta, ou até mesmo substitutiva, com a entidade teórica a que ele se refere, no contexto do fazer química.

Souza e Porto (2011; 2012) propõem uma análise semiótica sobre a relação entre fatos, interpretações e representações na química. Para isso, eles utilizam a fenomenologia e a teoria dos signos de Charles Sanders Peirce, na tentativa de esclarecer as estratégias de produção e comunicação do conhecimento químico. Um signo, ao representar um determinado objeto, gera um interpretante na mente do intérprete. Os signos são representações dos objetos, e podem ser de três tipos (se considerada sua relação com os objetos): icônicos, por apresentarem semelhança de qualidades com o objeto; simbólicos, que são relacionados a convenções, referenciando costumes, valores, padrões etc.; ou indiciais, cuja relação com seu objeto é factual: o signo indica seu objeto. No entanto, é importante destacar que nenhum signo mantém apenas um tipo de relação com seu objeto, de forma que todo signo possui níveis de iconicidade, indexicalidade e simbolicidade. Assim, o que pode ser observado é algum grau de predominância de uma ou de outra das dimensões sógnicas. Em suma, os objetos da química são ideias construídas pela atividade do químico, que interage com a realidade por meio de experimentos (índices) e a interpreta, gerando teorias e modelos. Essas teorias e modelos são disseminados por outros signos, icônicos e simbólicos (linguagem química: desenhos de estruturas moleculares, orbitais, equações químicas, fórmulas moleculares etc.), e são interpretados pelos estudantes, que geram seus conceitos sobre os objetos criados pela atividade do químico. Portanto, a maneira como se entendem as relações entre o signo e objeto, no processo de comunicação da química na construção de teorias, difere daquela que ocorre na sala de aula. Essas relações podem influenciar a ideia de "realidade" dos alunos. Assim, o modelo proposto por Souza e Porto permite distinguir aspectos ontológicos da atividade química, marcando a distinção entre a realidade dada, a realidade produzida (no sentido proposto por Bachelard [1984]) e a realidade ensinada.

A esse respeito, Izquierdo-Aymerich (2012) defende que a perspectiva histórico-filosófica no ensino da química pode ajudar a compreender melhor a relação entre o fazer química e o ensinar química, pois auxilia a identificar questões genuínas da química. Assim, a autora defende que, investigando quais são as competências sobre o fazer químico, se pode melhor orientar a seleção dos fatos e sequências de ensino-

aprendizagem na química. A filosofia da química, em particular, valoriza a linguagem química, que é o resultado de muitos anos de reflexões, através das quais metáforas, representações abstratas e experimentos foram construídos e refinados. Assim, o domínio da linguagem química se constitui em uma importante competência que pode orientar a química escolar (IZQUIERDO-AYMERICH, 2012).

Considerações finais

Tanto os autores da área de filosofia da química, quanto os de educação química, defendem como necessária a inclusão de questões controversas da química em seu ensino. Para isso, é preciso reestruturar o ensino em todos os níveis (desde a formação de professores até o ensino médio), para diminuir o hiato entre a química escolar e aquela praticada pelos químicos. No entanto, a leitura dos trabalhos aqui apresentados não propõe a adição da filosofia da química como um conteúdo a mais, principalmente no ensino médio, e sim a inserção de um pano de fundo filosófico no ensino. Ou seja, sugere-se levar em conta as discussões filosóficas e explicitá-las, principalmente no ensino superior da química. Além disso, a filosofia da química também não pode ser entendida como uma abordagem metodológica, e sim um meio que procura fundamentar, avaliar e explicitar as particularidades da química, o que contribui para a construção de formas de ensinar química. Deve-se atentar também para o fato de que o fazer químico e o ensino de química devem estar próximos, mas não são equivalentes.

Com base nesses referenciais, considera-se que as problemáticas educacionais podem se beneficiar de abordagens filosóficas; e as questões filosóficas necessitam ser ampliadas para questões do ensino. Então, há necessidade de mais investigações para a explicitação de controvérsias sobre teorias químicas, principalmente sobre o processo de apropriação do conhecimento químico.

Há que se destacar também a distinção entre o “fazer” e o “ensinar” química, pois necessitam de aportes filosóficos diferentes. Para “fazer química”, pode-se ser realista, acreditar na correspondência da representação/modelo com o objeto real, sem que haja prejuízo para os objetivos pretendidos. Para “ensinar química”, em contrapartida, admite-se a necessidade de maior reflexão sobre diferentes posicionamentos filosóficos, havendo a necessidade de apresentar aos alunos as controvérsias sobre o tema, explicitando os prós e contras de cada vertente. A imposição da perspectiva realista para o aluno de ensino médio, por exemplo, pode afastar o aluno da química, por não conseguir compreender a correspondência entre teoria, modelo, representação e evidência experimental. Para o estudante, muitas vezes não faz sentido aquilo que, do ponto de vista do professor, está tão bem estabelecido que não comporta discussões.

Referências

ADÚRIZ-BRAVO, A. A ‘semantic’ view of scientific models for science education. **Science & Education**. Jan., 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11191-011-9431-7>>. Acesso em 28/11/2012.

ARAUJO NETO, W. N. Estudos sobre a noção de representação estrutural na educação em química a partir da semiótica e da filosofia da química. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n.6, p. 719-738, 2012.

BACHELARD, G. **A filosofia do não**. trad. Ramos, J.J.M. Lisboa: Presença, 1984.

BAIRD, D. Analytical chemistry and the 'big' scientific instrumentation revolution. In: MORRIS, P. J. T. (Orgs.). **From Classical To Modern Chemistry: The Instrumental Revolution**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, p 29-56, 2002.

BERNAL, A.; DAZA, E. E. On the Epistemological and Ontological Status of Chemical Relations. **HYLE**, v.16, n.2, p.80-103, 2010.

BERSON, J.A. Fundamental theories and their empirical patches. **Foundations of chemistry**, v. 10, n.3, p.147-156, 2008.

BUCAT, B.; MOCERINO, M. Learning at the sub-micro level. In: GILBERT J. K. et al. (Orgs.) **Multiple representations in chemical education**, v.4. Dordrecht: Springer, p.11-29, 2009.

BUREWICZ, A.; MIRANOWICZ, N. Beyond the dimensionality of visualization in chemistry. In: EARLEY, J.E. (Orgs.) **Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy**. New York: Annals of the New York Academy of Science, v.988, p.244-249, 2003.

CALDIN, E. F. The structure of chemistry in relation to the philosophy of science. **HYLE**, v.8, n.2, p. 103-121, 2002.

CERRUTI, L. Chemicals as instruments: a language game. **HYLE**, v. 4, n.1, p.39-61, 1998.

COLL, R. K.; TREAGUST, F. D. Lerner's' mental models of chemical bonding. **Research in Science Education**, v.31, n.3, p. 357-382, 2001.

DEL RE, G. Models and analogies in science. **HYLE**, v. 6, n. 1, p. 5-15, 2000.

DEL RE, G. Ontological status of molecular structure. **HYLE**, v. 4, n. 2, p. 81-103, 1998.

EARLEY, J. E. Would introductory chemistry courses work better with a new philosophical basis? **Foundations of chemistry**, v.6, p. 137-160, 2004.

ERDURAN, S. Applying the philosophical concept of reduction to the chemistry of water: Implications for chemical education. **Science & Education**. v.14, p.161-171, 2005.

ERDURAN, S. Philosophy of chemistry: an emerging field with implications for chemistry education. In: BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E.; MATTHEWS, M. (Orgs.). **Science Education and Culture**. Dordrecht: Kluwer, p.165-177, 2001.

ERDURAN, S.; ADÚRIZ-BRAVO, A.; MAMLOK-NAAMAN, R. Developing epistemologically empowered teachers: examining the role of philosophy of chemistry in teacher education. **Science & Education**, v.16, n.09-10, p.975-989, 2007.

ERDURAN, S.; DUSCHL, R.A. Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. **Studies in Science Education**, v.40, p.105-138, 2004.

ERDURAN, S.; SCERRI, E. The nature of chemical knowledge and chemical education. In: GILBERT, J.K.; DE JONG, O.; JUSTI, R.; TREAGUST, D.F.; VAN DRIEL, J.H. (Orgs.). **Chemical education: towards research-based practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p.7-27, 2002.

- ERIKSEN, K. K. The future of tertiary chemical education : A *bildung* focus? **HYLE**, v.8, n.1, p. 35-48, 2002.
- FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M. Idealization in Chemistry: Pure Substance and Laboratory Product. **Science & Education**. dezembro, 2011. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11191-011-9428-2>>. Acessado em: 09/02/2012.
- FRANCOEUR, E. Beyond dematerialization and inscription: Does the materiality of molecular models really matter? **HYLE**, v. 6, n. 1, p. 63-84, 2000.
- GOEDHART, M. J. A new perspective on the structure of chemistry as a basis for the undergraduate curriculum. **Journal of Chemical Education**, v. 84, p. 971-976, 2007.
- GOOD, R.J. Why are chemists turned off by philosophy of science? **Foundations of chemistry**, v. 1, p. 65-95, 1999.
- GROSHOLZ, E.R.; HOFFMANN, R. How symbolic and iconic languages bridge the two worlds of the chemists: a case study from contemporary bioorganic chemistry. In: Bhushan, N.; Rosenfeld, S. (Orgs.). **Of minds and molecules**. New York: Oxford University Press, p. 230-247, 2000.
- HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: a case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. **Science Education**, v. 84, n. 3, p. 352-381, 2000.
- HENDRY, R. F. Molecular models and the question of physicalism. **HYLE**, v. 5, n.2, p.143-160, 1999.
- HOFFMANN, R. What might philosophy of science look like if chemists built it? **Synthese**, v.155, n. 3, p. 321-336, 2007.
- IZQUIERDO-AYMERICH, M. School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. **Science & Education**. Maio, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11191-012-9457-5>>. Acesso em 10/06/2012.
- JACOB, C.; WALTERS, A. Risk and responsibility in chemical research: The case of agent orange. **HYLE**, v. 11, n.2, p. 147-166, 2005.
- JACOB, C. Analysis and synthesis: interdependent operations in chemical language and practice. **HYLE**, v.7, n.1, p. 31-50, 2001.
- JUSTI, R. S. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las ciencias**, v.24, n.2, p. 175-184, 2006.
- JUSTI, R.S. GILBERT, J.K. Philosophy of chemistry in university chemical education: the case of models and modelling. **Foundations of chemistry**, v.4, p. 213-240, 2002.
- KAYA, E.; ERDURAN, S. Integrating epistemological perspectives on chemistry in chemical education: The cases of concept duality, chemical language, and structural explanations. **Science & Education**, outubro, 2011. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/h7789r01m1816t60/>>, Acessado em: 18/11/2011.

- KNIGHT, D. Exalting understanding without depressing imagination: depicting chemical process. **HYLE**, v. 9, n.2, p. 171-189, 2003.
- KOVAC, J. Gifts and Commodities in Chemistry. **HYLE**, v. 7, n. 2, p. 141-153, 2001.
- KOVAC, J. Theoretical and practical reasoning in chemistry. **Foundations of chemistry**, v. 4, p. 163-171, 2002.
- KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva. 1998.
- LABARCA, M.G.; LOMBARDI, O. The ontological autonomy of the chemical world. **Foundations of Chemistry**, v. 7, n. 2, p. 125-148, 2005.
- LABARCA, M. La filosofía de la química y su impacto en la educación en química. **Educación en la química**, v.12, n.2, p. 57-106, 2006.
- LABARCA, M. Acerca de la naturaleza de la química: algunos comentarios. **Educación en la química**, v. 15 n. 2, p. 77-158, 2009.
- LABARCA, M.G. Filosofía de La química: a poco más de diez años de su nacimiento. In: MARTINS, R.A.; LEWOWICZ, L.; FERREIRA, J. M. H.; SILVA, C. C.; MARTINS, L. A. (Orgs.). **Filosofia e história da ciência no Cone Sul**. Campinas: AFHIC, p. 414-422, 2010.
- LAFOLLETTE, M. C. Taking Science to the Marketplace: Examples of Science Service's Presentation of Chemistry during the 1930s. **HYLE**, v. 12, n.1, p. 67-97, 2006.
- LASZLO, P. Chemical Analysis as dematerialization. **HYLE**, v.4, n. 1, p. 29-38, 1998.
- LASZLO, P. Circulation of concepts. **Foundations of chemistry**, v. 1, n. 3, p. 225-239, 1999.
- LASZLO, P. Playing with Molecular Models. **HYLE**, v. 6, n. 1, p. 85-97, 2000.
- LASZLO, P. Tools, instruments and concepts: the influence of the second chemical revolution. In: Morris, P. J. T. (Orgs.). **From Classical To Modern Chemistry: The Instrumental Revolution**. Cambridge: Royal Society of Chemistry. p. 171-87, 2002.
- LASZLO, P. Foundations of Chemical Aesthetics. **HYLE**, v. 9, n.1 p. 11-32, 2003.
- LASZLO, P. On the Self-Image of Chemists, 1950-2000. **HYLE**, v. 12, n.1, p. 99-130, 2006.
- LEFÈVRE, W. Viewing chemistry through its way of classifying. **Foundations of chemistry**. v. 14, n. 1, p. 25-36, 2012.
- MAINZER, K. Symmetry and Complexity-Fundamental Concepts of Research in Chemistry. **HYLE**. v. 3, p. 29-49, 1997.
- MAINZER, K. Computational Models and Virtual Reality: New Perspectives of Research in Chemistry. **HYLE**, v. 5, n.2, p. 117-126, 1999.
- MATTHEWS, M.R. Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In: KHINE, M.S. (Orgs.). **Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies**. Dordrecht: Springer, p. 3-26, 2012.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, n. 3, p. 267-285, 1995.
- MORTIMER, E. F. Para além das fronteiras da química: relações entre filosofia, psicologia e ensino de química. **Química Nova**. v. 20, n. 2, p.200-207, 1997.

- MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG. 2006.
- MULDER, P. Are orbitals observable? **HYLE**. v. 17, n.1, p. 24-35, 2011.
- NAGEL, E. **The structure of science: problems in the logic of scientific explanation**. London: Routledge & Kegan Paul. 1982.
- NIINILUOTO, I. **Critical scientific realism**. New York: Oxford University Press. 1999.
- OGILVIE, J.F. Is a molecular orbital measurable by means of tomographic imaging? **Foundations of Chemistry**, v.13, n.2, p.87-91, 2011.
- PESSOA JR, O. A classificação das diferentes posições em filosofia da ciência. **Cognitio-estudos**. v. 6,n.1, p.1-73, 2009.
- POZO, J. I.;CRESPO, M. A. G. C. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Trad. Freitas. Porto Alegre: Artmed. 2009.
- RAMBERG, P. J. Pragmatism, Belief, and Reduction: Stereoformulas and Atomic Models in Early Stereochemistry. **HYLE**. v. 6, n. 1, p. 35-61, 2000.
- RAMSEY, J. L. Molecular shape, reduction, explanation and approximate concepts. **Synthese**, v. 111, p. 233–251, 1997.
- ROOT-BERNSTEIN, R. Sensual Chemistry: Aesthetics as a Motivation for Research. **HYLE**, v. 9, n.1, p. 33-50, 2003.
- SCERRI, E. Chemistry, spectroscopy and the question of reduction. **Journal of Chemical Education**, v. 68, n.2, p.122-126, 1991.
- SCERRI, E. R. Have orbitals really been observed? **Journal of Chemical Education**. v. 77, p. 1492-94, 2000b.
- SCERRI, E. R. La nueva filosofía de la química y su importancia en la educación química. In: CHAMIZO, J. A. (Orgs.) **La esencia de la química: Reflexiones sobre filosofía y educación**. México: FQ-UNAM, p.181-192, 2007b.
- SCERRI, E. R. Philosophy of chemistry: A new interdisciplinary field? **Journal of Chemical Education**, v. 77, n.4, p. 522-525, 2000a.
- SCERRI, E. R. Some aspects of the metaphysics of chemistry and the nature of the element. **HYLE**, v. 11, n.2, p. 127-145, 2005.
- SCERRI, E. R. The ambiguity of reduction. **HYLE**, v. 13, n.2, p. 67-81, 2007a.
- SCHUMMER, J. Physical Chemistry: Neither Fish nor Fowl? In: Janich, P.; Psarros, N. (Orgs.) **The Autonomy of Chemistry**. Würzburg: Königshausen & Neumann. p. 135-148, 1997d.
- SCHUMMER, J. Towards a philosophy of chemistry. **Journal for general philosophy of science**. v. 28, n.2, p. 307-336, 1997a.
- SCHUMMER, J. Scientometric studies on chemistry I: The exponential growth of chemical substances 1800-1995. **Scientometrics**. v. 39, n. 1, p. 107-123, 1997b.
- SCHUMMER, J. Scientometric studies on chemistry II: aims and methods of producing new chemical substances. **Scientometrics**. v. 39, n. 1, p. 125-140, 1997c.

SCHUMMER, J. The chemical core of Chemistry I: A conceptual Approach. **HYLE**, v. 4, n.2, p. 129-162, 1998.

SCHUMMER, J. Coping with the growth of chemical knowledge: challenges for chemistry documentation, Education and working chemists. **Educación química**, v. 10, n. 2, p. 92-101, 1999.

SCHUMMER, J. Ethics of chemical synthesis. **HYLE**, v. 7, n. 2, p.103-124, 2001.

SCHUMMER, J. The Impact of Instrumentation on Chemical Species Identity from chemical substances to molecular species In: Morris, P. J. T. (Orgs) **From Classical To Modern Chemistry: The Instrumental Revolution**. Cambridge: Royal Society of Chemistry. p.188-211, 2002.

SCHUMMER, J. The Philosophy of chemistry. **Endeavour**, v.27, n.1, p. 37-41, 2003a.

SCHUMMER, J. Chemical versus Biological Explanation: Interdisciplinarity and Reductionism in the 19th-Century Life Sciences. In: Earley, J.E. (Orgs.). **Chemical Explanation: Characteristics, Development, Autonomy**. New York: Annals of the New York Academy of Science, v. 988, p. 269-281, 2003b.

SCHUMMER, J. Aesthetics of Chemical Products: Materials, Molecules, and Molecular Models. **HYLE**, v. 9, n.1, p.73-104, 2003c.

SCHUMMER, J. Why do Chemists Perform Experiments? In: SOBCZYŃSKA, D.; PAWEŁ, Z.; ZIELONACKA-LIS, E. (Orgs.), **Chemistry in the Philosophical Melting Pot**. Frankfurt: Peter Lang, p. 395-410, 2004.

SCHUMMER, J. The Philosophy of Chemistry. In: ALLHOFF, F. (Orgs.) **Philosophies of the Sciences: A Guide**. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing. p. 163-183, 2010.

SCHUMMER, J.; SPECTOR, T.I. The Visual Image of Chemistry: Perspectives from the History of Art and Science. **HYLE**, v. 13, p.3-41, 2007.

SHULMAN, L. Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reforms. **Harvard Educational Review**, v.57, n.1, p. 1-22, 1987.

SJÖSTRÖM, J. The Discourse of Chemistry (and Beyond). **HYLE**, v.13, n.2, p.83-97, 2007.

SOUZA, K. A. F. D.; PORTO, P.A. **Estratégias visuais na construção de uma realidade química**: análise semiótica das ilustrações em livros didáticos ao longo do século XX. In: Encontro Nacional de Pesquisa em educação em Ciências, 2011, Campinas: ABRAPEC, 2011. Disponível em: < <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiiinpec/resumos/R0929-1.pdf> >. Acessado em: 4/02/2013.

SOUZA, K.A.F.D.; PORTO, P.A. How Chemistry Works? Reflections on Triadic Approaches and a Contribution From Peircean Semiotics. In: **2012 NARST Annual International Conference**, Indianápolis, IN, EUA. 2012 NARST Annual Conference Presentation Abstracts. Reston, VA, EUA: NARST, p. 65-66, 2012.

STEIN, R. L. Towards a Process Philosophy of Chemistry. **HYLE**, v. 10, n.1, p. 5-22, 2004.

TALANQUER, V. Macro, submicro and symbolic: the many faces of the chemistry "triplet". **International Journal of Science Education**, v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011b.

- TALANQUER, V. School Chemistry: the need for transgression. **Science & Education**, set, 2011a. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/j2r0lh064n28r83k>>. Acessado em: 18/11/2011.
- TALANQUER, V.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. **Chemical Education Research and Practice**, v.11, p.74–83, 2010.
- TOMASI, J. Towards 'chemical congruence' of the models in theoretical chemistry. **HYLE**, v.5, n.2, p. 79-115, 1999.
- TONTINI, A. Developmental aspects of contemporary chemistry: some philosophical reflections. **HYLE**, v.5, n. 1, p. 57-76, 1999.
- TONTINI, A. On the Limits of Chemical Knowledge. **HYLE**, v. 10, n.1, p. 23-46, 2004.
- TREAGUST, D.F.; CHITTLEBOROUGH, G. Chemistry: A matter of understanding representations In: BROPHY, J. (Orgs.). **Subject-specific instructional methods and activities**. New York: Emerald Group Publishing Limited, v.8, p.239-267, 2001.
- TRINDLE, C. Entering Modeling Space: An Apprenticeship in Molecular Modeling. **HYLE**, v. 5, n.2, p. 127-142, 1999.
- VEMULAPALLI, G. K. Theories of the chemical bond and its true nature. **Foundations of Chemistry**, n.10, p.167–176, 2008.
- VIHALEMM, R. The autonomy of chemistry: old and new problems. **Foundations of chemistry**, v.13, n.2, p. 97–107, 2011.
- WEININGER, S. J. Contemplating The Finger: Visuality and the Semiotics of Chemistry. **HYLE**, v. 4, n. 1, p. 3-27, 1998.
- WEISBERG, M. Qualitative theory and chemical explanation. **Philosophy of science**. v.71, n.5, p. 1071-1081, 2002.
- ZEIDLER; P. The Epistemological Status of Theoretical Models of Molecular Structure. **HYLE**, v. 6, n. 1, p. 17-34, 2000.

Submetido em abril de 2013, aceito em março de 2014.