

O FAZER QUÍMICA E O ENSINAR QUÍMICA: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES EM TORNO DO REALISMO QUÍMICO

Anielli Fabiula Gavioli Lemes

ani_fgl@iq.usp.br

Paulo Alves Porto

palporto@iq.usp.br

Instituto de Química - Universidade de São Paulo (São Paulo, Brasil)

RESUMO: Buscando fornecer subsídios para o entendimento a respeito da construção e utilização do conhecimento químico e reflexões sobre a forma como ele é ensinado, este trabalho investiga um grupo de dez doutorandos em química de uma Universidade pública do Brasil. A investigação se baseou em dois grupos de entrevistas, analisadas de forma qualitativa, criando-se categorias para codificação das concepções dos químicos em diversos temas. Neste trabalho, são expostos e discutidos os conteúdos das falas deste grupo de pós-graduandos a respeito de suas concepções realistas. A partir desses dados, e dialogando com referenciais da filosofia e do ensino de química, apresentamos apontamentos sobre aspectos peculiares ao fazer e ensinar química.

PALAVRAS CHAVE: Filosofia da Química, Ensino de Química, Realismo Químico

OBJETIVOS

Considerando que as peculiaridades da química influenciam as formas como ela é ensinada, investigamos as concepções de dez doutorandos em química a respeito de quais seriam as ideias estruturantes dessa ciência. A escolha por doutorandos se justifica pelo fato de se tratar de pessoas envolvidas diretamente na geração de conhecimentos químicos e, nesse sentido, seu olhar é privilegiado a respeito das peculiaridades da química. Neste trabalho, focamos a questão do realismo químico revelado pelas falas do grupo investigado, e possíveis implicações para o ensino de química, como a necessária reflexão sobre o fazer química e ensinar química.

MARCO TEÓRICO

As questões em torno do realismo das entidades químicas relacionam diferentes aspectos da química, em termos filosóficos e do ensino da química. No ensino, existe a preocupação com a forma mais apropriada de se descrever essas entidades, e tornar mais compreensível a realidade submicroscópica. Na prática química, é preciso lidar com a dualidade macro (evidências observacionais)/submicroscópico (interpretação do que está ocorrendo o submicro, abrangendo estruturas moleculares e mecanismos de reação), desenvolvendo a fluência em transitar entre esses níveis.

Segundo Knight (2003), Tontini (1999) e Vihalemm (2011), o realismo entre os químicos tem suas raízes na experimentação. Isso porque as evidências experimentais, os produtos sintetizados e o exame da mesma substância por diferentes técnicas corroboram a existência das entidades postuladas pela química. Como destaca Vihalemm (2011), o realismo químico não é ingênuo e sim prático, pois, por meio de experimentos, os químicos acessam algum aspecto do mundo real e o modificam. Outro fator que contribuiu para reforçar a perspectiva realista na química foi o advento de técnicas instrumentais na experimentação, as quais, ao aumentarem o acesso aos objetos da química, ampliaram a confiança naquilo que é observado (Del Re, 1998; Schummer, 2002; Talanquer, 2011). Assim, a instrumentação influenciou as concepções ontológicas na química, fazendo com que se mudasse o entendimento sobre as estruturas moleculares, por exemplo, que deixaram de ser objetos teóricos, para se tornar objetos que precedem as propriedades medidas (Schummer, 2002). Para Laszlo (2002), ao mesmo tempo em que os resultados dos instrumentos aumentaram a sensibilidade de medição, também acarretaram um distanciamento da realidade imediata (isto é, de fenômenos como mudanças de cor, cheiro, precipitação, etc.), dando aos entes submicroscópicos idealizados maior imaterialidade e desconexão temporal das evidências.

Os químicos, em geral, tendem a ficar mais satisfeitos com modelos que possam ser desenhados no papel ou manipulados – como esferas, varetas ou molas – do que com cálculos (Caldin, 2002). O apego a representações de modelos de forma mais concreta faz com que o entendimento dos químicos sobre a mecânica quântica seja diferente daquele dos físicos: os orbitais dos físicos são entendidos como estados e, assim, não observáveis; enquanto os orbitais dos químicos são considerados como densidades eletrônicas, sendo observáveis (Mulder, 2011; Ogilvie, 2011). Com isso, se há uma diferença de interpretação entre a física e a química sobre a mesma teoria, uma possibilidade seria considerar que cada uma terá uma ontologia particular (Labarca e Lombardi, 2005).

No que concerne ao ensino básico, ou ao ensino inicial dessa ciência, temos que considerar outros pontos de vista. 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. Bucat e Mocerino (2009) ressaltam como necessária a distinção entre a realidade e os modelos e suas representações, argumentando que o uso impreciso da linguagem (pictórica ou verbal) pode ofuscar a distinção entre o comportamento macroscópico e as explicações submicroscópicas. Assim, os estudantes, ao operar sobre fórmulas químicas, em vez de sobre os modelos aos quais se referem, podem cometer equívocos. Para evitar isso, os estudantes precisam aprender, e os professores e livros didáticos precisam explicar, as convenções e estilos de representações. Refletindo sobre como o conhecimento químico é produzido e como pode ser ensinado, Souza (2012) propõe uma análise semiótica sobre a relação entre fatos, interpretações e representações na química. Segundo a autora, os objetos da química são ideias construídas pela atividade do químico, o qual interage com a realidade por meio de experimentos e a interpreta, gerando teorias e modelos. Essas teorias e modelos são disseminados por meio de signos diversificados (linguagem química: desenhos de estrutura molecular, orbitais, equações químicas, fórmulas moleculares, etc.), os quais são interpretados pelos estudantes, que geram seus conceitos sobre o objeto criado pela atividade do químico. A maneira como são entendidas as relações entre signos e objetos, no processo de construção de teorias, difere daquela que ocorre na sala de aula – o que influencia a ideia de “realidade” dos alunos.

Erduran (2005) acentua que a falta de reflexões sobre os conceitos e entidades da química faz com que não se entenda com profundidade o conhecimento químico. Diante disso, tem-se sugerido 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.

METODOLOGIA

Para esta investigação foi escolhido um grupo de doutorandos em química de uma Universidade pública brasileira, que foram entendidos como participantes diretos do processo de produção do conhecimento químico. Além disso, grande parte dos doutores em química formados na Universidade escolhida irão se tornar docentes em outras instituições de ensino superior, e serão formadores de professores de química para o ensino médio, ou formadores de formadores, como orientadores nos programas de pós-graduação. Assim sendo, suas concepções acerca de aspectos da filosofia da química podem ser consideradas representativas de conhecimentos que serão propagados em diferentes níveis de ensino.

Para a coleta de dados, utilizamos dois grupos de entrevistas semi-estruturadas gravadas em áudio. Foram entrevistados 10 doutorandos em química, sendo dois de cada sub-área: físico-química (QF1 e QF2), analítica (QA1 e QA2), orgânica (QO1 e QO2), inorgânica (QI1 e QI2) e bioquímica (QBQ1 e QBQ2). O roteiro da primeira entrevista constava de três grandes blocos: 1) ficha do perfil do entrevistado; 2) entrevista guiada com perguntas diretas; e 3) entrevista guiada por questões associadas a fragmentos de artigos científicos em química, e por frases relacionadas à natureza da química. Este terceiro bloco foi baseado em artigos da área de filosofia da química que discutem, a partir de publicações em química, aspectos do realismo e do reducionismo (Jenkins, 2003; Labarca & Lombardi, 2010; Scerri, 2000). Dessa forma, o instrumento possibilitou investigar tópicos de filosofia da química utilizando textos familiares (artigos científicos) aos entrevistados. O segundo grupo de entrevistas buscou abranger os aspectos mais ressaltados nas entrevistas anteriores: a relação entre as teorias e modelos sobre ligações químicas, e as evidências experimentais mediadas e não mediadas por instrumentos. Assim, o roteiro da segunda entrevista se baseou em trechos das próprias falas dos entrevistados na primeira entrevista. Por fim, após a transcrição e análise dos dois grupos de entrevista, a análise dos dados foi feita por meio de uma abordagem qualitativa, baseada nas propostas de Bogdan e Biklen (1994).

RESULTADOS

As entrevistas mostram que a postura realista tem papel operacional para os químicos entrevistados. Os dez químicos têm presente em suas falas a concepção realista das entidades e teorias químicas. Para analisar o papel do “realismo químico”, foram criadas duas subcategorias (dentro de uma categoria mais ampla, “características do pensamento químico”), que representam dois diferentes níveis de concepção realista entre os químicos: o “realismo químico com referência a imagens” e o “realismo químico sem referência a imagens”.

Realismo químico com referência a imagens

As falas que mostravam confiança quanto à existência de entidades como átomos, ligações químicas, etc., e eram associadas a uma forma/imagem para essas entidades, foram alocadas na subcategoria “realismo químico com referência a imagens”. Quando os entrevistados explicavam a relação entre um espectro de infravermelho, as tabelas de atribuições de frequências e a representação de uma molécula, eles deixavam explícita a grande contribuição das técnicas instrumentais ao realismo químico, principalmente para a confiança na realidade das formas das estruturas moleculares, como se observa na seguinte fala:

QA1: esse aqui ((tabela)) caracteriza cada pico né? e juntando essas informações você chega na molécula
Pesquisadora (P): isso é uma evidência experimental? o que o infravermelho te dá?

QA1: na verdade é um quebra-cabeça né? cada pico você obtém um estiramento... e você consegue... por meio desse estiramento... várias peças do quebra-cabeça... e vai juntando uma a outra até chegar na figura desejada

As falas expressam a materialidade do modelo de entidades teoricamente abstratas (átomo e ligação química) e sua relação com as evidências produzidas no espectro de infravermelho. Essa relação direta é examinada por Schummer (2002), para quem o advento de dados instrumentais repercutiu no nível ontológico da química, pois se passou a acreditar que existe exatamente uma estrutura química característica para cada substância química. Assim, os químicos parecem dar menos importância ao processo de identificação das espécies químicas pelo exame dos efeitos provocados sobre propriedades essenciais (ponto de fusão, por exemplo) na interação entre substâncias, para uma grande confiança no nível “teórico”. Neste caso, entende-se que a ontologia da química hoje considera não que as substâncias interagem com a radiação produzindo evidências sobre as suas estruturas moleculares; mas sim que as substâncias interagem com a radiação por causa de suas formas moleculares. Sendo assim, para o grupo de químicos investigados, a estrutura da molécula precede a propriedade, a evidência.

Considerando a perspectiva de que o desenvolvimento do conhecimento químico é guiado por uma perspectiva pragmática, e que se amplia por acréscimos e justaposições, como uma “colcha de retalhos” (Schummer, 2010, p.163), a mudança nos modelos que os químicos entendem como formas reais não é vista como anomalia pelos químicos, que concebem, com naturalidade (mas não podemos afirmar se com consciência), a necessidade de contínuos ajustes e acréscimos em suas teorias e nos modelos que as representam. As representações mais icônicas expressam de forma mais “completa” – e até mesmo realística – as entidades teóricas, se comparadas às representações predominantemente simbólicas – mais associadas às convenções químicas, que captam a composição e não tanto a forma (como a estrutura molecular) (Grosholz & Hoffmann, 2000). Assim, as representações mais icônicas podem ter contribuído para a formação dessa concepção realista entre os químicos investigados.

O uso de técnicas instrumentais de análise contribuiu tanto para o maior acesso a evidências não visíveis a olho nu, quanto também para o desenvolvimento da modelagem computacional (Mainzer, 1999). Tais contribuições parecem convencer os entrevistados sobre a realidade não apenas da existência das entidades, mas também de sua forma, desenvolvendo um mundo ontológico próprio da química. Nele, as representações expressam as formas das entidades químicas, como se fossem fotografias, o que se evidencia na fala a seguir, sobre os artigos a respeito da visualização de orbitais:

QA1: o que ele ((artigo sobre a observação de orbitais)) tá mostrando? pra mim... uma descoberta científica... os orbitais d já existem e ele tá mostrando isso... trazendo ao mundo... provando que isso existe... os buracos d do átomo de cobre... e também mostrando a existência da ligação desse composto... muito legal isso...

P: e esse outro?

QA1: mesma coisa...a partir daquilo que já existe... consegue mostrar... provar...

O que é percebido, explicitamente, além da evidência sobre o papel do experimento na química, é a necessidade de expressar o modelo teórico-abstrato sobre os orbitais utilizando referências a figuras ou objetos familiares. Esse modelo, no entanto, é diferente do modelo proposto pelos físicos, no âmbito da mecânica quântica, que consiste em uma descrição matemática de um estado das partículas da matéria (Mulder, 2011) e, portanto, não tem referente de imagens. De maneira semelhante ao que foi observado nas entrevistas com os pós-graduandos, Ogilvie (2011) defende que é possível medir experimentalmente as propriedades dos átomos e moléculas. No entanto, os doutorandos vão além, acreditando na existência da entidade orbital dotada de uma determinada forma, enquanto Ogilvie defende que não se pode afirmar que essa entidade existe. Os orbitais dos químicos, para esse grupo de entrevistados, então, parecem ser como as representações nos livros didáticos, entendidos como densidades eletrônicas.

De maneira geral, as falas da segunda entrevista dão mais detalhes da perspectiva realista dos pós-graduandos. Assim, os químicos entrevistados parecem estar mais satisfeitos com os modelos que podem ser desenhados no papel ou manipulados, corroborando os argumentos de Caldin (2002):

P: então, pra gente considerar que tem estiramento... a gente tem que considerar que existem ligações químicas...

QA1: e que existem orbitais e que existem elétrons...

QF1: o químico... ele associa muito ... todo processo que ele está lidando com... sei lá... que um elétron saiu de um orbital e foi pra aquele... ou uma transição do orbital HOMO pro LUMO entendeu?

A fala do QF1 acima se destaca por ter, além da referência à realidade e forma, a percepção de que, sendo pesquisador em química quântica teórica, ele entende que há outra visão diferente da dos “químicos”. As posições dos pós-graduandos QBQ1, QBQ2 e QI2 vão além do compartilhamento da perspectiva realista imagética, incluindo também posições instrumentalistas¹. Isso pode ser uma evidência da falta de reflexão sobre o assunto ou, dito de outro modo, falta de consciência sobre o que eles próprios acreditam em relação às características do conhecimento químico. Na sequência, apresentamos um exemplo de uma fala na transcrição da primeira entrevista e, depois, os comentários do pós-graduando sobre ela, na segunda entrevista.

1ª Entrevista

QI2: (...) eles utilizaram um método físico... difração de raio x... e na verdade fizeram... existe um programa computacional que tenta relacionar o método físico... eu acho que... é uma interface entre o raio x e química computacional... pegam essas substâncias e tentam calcular... tem um programa computacional que faz essas formas de orbitais... a gente tá acostumado com essas formas que aparecem... (...) por que até então... essas formas dos orbitais eram muito teórico... não sei se agora tem um equipamento que pode realmente enxergar aquela forma... tem algumas técnicas de espectroscopia AFM de força atômica... que a agulha chega ser tão fina... da dimensão de alguns átomos assim... então você consegue mexer... você consegue escrever um nome... mover átomos/

2ª Entrevista

QI2: existe ((orbitais)) e por isso que a molécula... por causa dessa forma... por isso que a molécula tem ... um metano é tetraedro... se não... se fosse circular poderia ser de qualquer jeito ali né?

Uma hipótese para essa dualidade de perspectivas em um mesmo indivíduo seria a existência de um conflito entre a formação do pós-graduando como pesquisador e, assim, produtor/modificador de conhecimento químico; e a formação inicial do químico, ao ser apresentado a um conhecimento livresco – o qual não corresponde ao que o químico realmente faz. Além disso, pode-se apontar para a falta de espaços formais, na formação inicial, para a reflexão sobre como a química funciona (Earley, 2004; Erduran, 2005; Justi & Gilbert, 2002; Goedhart, 2007). Assim, a graduação em química pode até “expressar” a informação de que os orbitais não são entidades concretas, e que são simplesmente funções de onda, modelos construídos no mundo das ideias. Porém, como ressalta Hoffmann (2007), a manipulação das transformações químicas (no caso dos sujeitos aqui entrevistados, o seu dia-a-dia como pesquisador), contribui para o realismo dos químicos, com ou sem referência a imagens.

1. O *instrumentalismo* seria uma forma de anti-realismo, que considera as teorias científicas como sendo instrumentos convenientes para calcular e prever fenômenos (Popper, 1972).

Realismo químico sem referência a imagens

As falas que caracterizam o “realismo químico sem referência a imagens” destacam a existência real de átomos ou ligações, mas não fazem afirmações quanto a suas formas. Houve a necessidade de criar essa subcategoria, pois se observou trechos de falas que explicitavam certeza sobre a realidade somente da ideia da entidade teórica, mas não sobre sua forma, ou o acesso a sua forma. Somente as falas de QA2, QF1, QF2 e QI1 foram classificadas nessa subcategoria, mas esses entrevistados também manifestaram, em outros momentos, concepções do realismo com referência a imagens.

QF2: só não tô vendo essa ligação/ mas essa ligação existe...

P: (...) você tá considerando que molécula e ligação existem não?

QI1: sim... as moléculas são ligadas... elas interagem... a gente chama de interação de ligação

P: tá... mas aí a gente não consegue ver o átomo? se ela existe... porque a gente não consegue ver o átomo?

QI1: por que a gente não chegou... tem uma limitação óptica... na física... que a gente não consegue enxergar tão pequeno assim... pra visualizar... mas acontecem interações eletrônicas entre os elétrons... a mesma coisa... a gente não consegue enxergar uma corrente elétrica passando no fio... num microscópico... mas sabe que ela existe

A linguagem, que medeia as evidências experimentais e a interpretação dos químicos, possibilitou a síntese de uma vasta gama de novas substâncias. Houve também um refinamento do corpo teórico que dá sustentação a essa linguagem, dando dinamicidade às representações (Tontini, 1999). Sob essa perspectiva, justifica-se a crença no conceito por trás dessa representação e nem tanto em relação a sua forma, pois elas são incertas e modificáveis. No caso do grupo estudado, além de existir um realismo quanto ao orbital pelos químicos, há também a crença realista em relação a outras entidades teóricas da química, caracterizando um “realismo químico”. A concepção realista sem referência a imagens é menos ingênua que a concepção realista imagética; porém, mesmo sendo menos ingênua, essa perspectiva pode dificultar a manipulação das entidades teórico-abstratas, que são mais úteis se os seus modelos forem materializados (seguindo a perspectiva imagética), como no caso da explicação de um impedimento estérico em um mecanismo de reação. Portanto, ambas as perspectivas têm diferentes funções e consequências no fazer e ensinar química, o que mostra a importância da problematização dessas perspectivas no ensino de graduação, para que se propague pelos demais níveis formativos.

O papel da experimentação na formação do realismo químico é crucial, pois o resultado dos experimentos – do qual derivam as teorias – são aspectos do mundo real (Vihalemm, 2011). Sendo assim, pode-se inferir que somente nos níveis de formação nos quais se interage mais com a experimentação (em geral, nos cursos de graduação), o realismo químico é internalizado no indivíduo, ao desenvolver suas habilidades em conectar as evidências com as explicações químicas. As representações de modelos reforçam a dinamização do fazer da química, isto é, a interação entre evidências experimentais e teorias (Knight 2003). No entanto, não se pode deixar de lado a consciência da operação sobre compostos e sobre representações, pois ambos têm suas limitações (Jacob, 2001).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conteúdo das entrevistas realizadas mostra que a postura realista, tanto com referência a imagens, quanto sem referência a imagens, tem papel operacional para os químicos em sua prática de laboratório. No que tange ao fazer químico, o realismo dos químicos é reforçado pelo sucesso na realização de sínteses de substâncias e materiais, pelo uso de equipamentos de caracterização estrutural, e tem

contribuído com o desenvolvimento da área. Assim, no fazer químico, o químico iniciado parece precisar, pragmaticamente, igualar os significados de representação e modelo, atingindo uma fluência no trânsito entre as evidências e teoria. No ensino, porém, a perspectiva realista pode gerar concepções alternativas acerca das entidades químicas, ou até mesmo o desinteresse em relação a essa ciência, por falta de entendimento de suas teorias. O realismo químico com referência a imagens, no ensino de química em nível básico e de graduação, pode se tornar um obstáculo, na medida em que pode conduzir o aprendiz a realizar operações sobre os símbolos das entidades submicroscópicas, em vez de operar sobre os modelos. Assim, o “fazer química” e o “ensinar química” parecem necessitar de aportes filosóficos diferentes. Para “fazer química”, pode-se ser realista, sem que haja prejuízo para os objetivos pretendidos. Para “ensinar química”, em contrapartida, se requer maior reflexão sobre diferentes posicionamentos filosóficos, apresentando aos alunos as controvérsias sobre o tema. Assim, torna-se importante a incorporação de subsídios para reflexão na formação inicial dos químicos, a fim de auxiliá-los a compreender em que se fundamenta a química, em vez de simplesmente apresentar-lhes conteúdos prontos, como é tão comum no ensino universitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bogdan, R. e Biklen, S. (1994). *Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Trad. Alvarez, dos Santos e Baptista, Porto: Porto Editora.
- Bucat, B. e Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level. In: Gilbert J. K. et al. (Eds.) *Multiple representations in chemical education*, v. 4. Dordrecht: Springer, pp. 11-29.
- Caldin, E. (2002). The structure of chemistry in relation to the philosophy of science. *HYLE*, 8(2), pp. 103-121.
- Del Re, G. (1998). Ontological status of molecular structure. *HYLE*, 4(2), pp. 81.
- Earley, J. E. (2004). Would introductory chemistry courses work better with a new philosophical basis? *Foundation of chemistry*, v.6, pp. 137-160.
- Erduran, S. (2005). Applying the philosophical concept of reduction to the chemistry of water: Implications for chemical education. *Science & Education*. v.14, pp. 161–171.
- Goedhart, M. J. (2007). A new perspective on the structure of chemistry as a basis for the undergraduate curriculum. *Journal of Chemical Education*, v. 84, pp. 971-976.
- Grosholz, E.R. e Hoffmann, R. (2000). How symbolic and iconic languages bridge the two worlds of the chemists: a case study from contemporary bioorganic chemistry . In: Bhushan, N., et al. (Ed.) *Of minds and molecules*. New York: Oxford University Press, pp. 230-247.
- Hoffmann, R. (2007). What might philosophy of science look like if chemists built it? *Synthese*, 155(3), pp. 321-336.
- Jacob, C. (2001). Analysis and synthesis: Interdependent operations in chemical language and practice. *HYLE*, 7(1), pp. 31-50.
- Jenkins, Z. (2003). Do you need to believe in orbitals to use them? Realism and the autonomy of chemistry. *Philosophy of Science*, v. 70, pp. 1052-62.
- Justi, R.S. e Gilbert, J.K. (2002). Philosophy of chemistry in university chemical education: the case of models and modelling. *Foundation of chemistry*, v.4, pp. 213-240.
- Knight, D. (2003). Exalting Understanding without depressing imagination: Depicting chemical process. *HYLE*, 9(2), pp. 171-189.
- Labarca, M. e Lombardi, O. (2005). The ontological autonomy of the chemical world. *Foundations of Chemistry*, 7(2), pp. 125-148.

-
- Labarca, M. e Lombardi, O. (2010). Why orbitals do not exist? *Foundations of Chemistry*, v. 12, pp. 149-57.
- Laszlo, P. (2002). Tools, instruments and concepts: the influence of the second chemical revolution. In: Morris, P.J.T. (Ed.) *From classical to modern chemistry*. Cambridge: RSC, pp. 171-87.
- Mainzer, K. (1999). Computational models and virtual reality: New perspectives of research in chemistry. *HYLE*, 5(2), pp. 117-126.
- Mulder, P. (2011). Are orbitals observable? *HYLE*, 17(1), pp. 24-35.
- Ogilvie, J.F. (2011). Is a molecular orbital measurable by means of tomographic imaging? *Foundation of Chemistry*. 13(2), pp.87-91.
- Popper, K. R. (1972). *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Pozo, J. I. e Crespo, M. A. G. (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. Trad. Freitas, N.. Porto Alegre: Artmed.
- Scerri, E. R. (2000). Have orbitals really been observed? *Journal of Chemical Education*. v. 77, pp. 1492-4.
- Schummer, J. (2002). The impact of instrumentation on chemical species identity from chemical substances to molecular species In: Morris, P.J.T. (Ed.) *From classical to modern chemistry*. Cambridge: RSC, pp. 188-211.
- Schummer, J. (2010). The philosophy of chemistry. In: Allhoff, F. (Ed.) *Philosophies of the Sciences: A guide*. Oxford: Wiley-Blackwell Publishing, pp.163-183.
- Souza, K. A. F. D.(2012). *Estratégias de comunicação em química como índices epistemológicos: análise semiótica das ilustrações presentes em livros didáticos ao longo do século XX*. 189p. Tese – Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro and symbolic: the many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33(2), pp. 179-195.
- Tontini, A. (1999). Developmental aspects of contemporary chemistry: some philosophical reflections. *HYLE*, 5(1), pp. 57-76.
- Vihalemm, R. (2011). The autonomy of chemistry: old and new problems. *Foundation of chemistry*, 13(2), pp. 97-107.