

A emergência da Filosofia da Química como campo disciplinar

The emergence of philosophy of chemistry as a disciplinary field

Marcos Antonio Pinto Ribeiro, Brasil

Química e filosofia tiveram pouco diálogo no século XX. Apesar de sua importância cultural, a química, a ciência mais central, é, surpreendentemente, a mais insular em questões filosóficas e não tem sido um objeto importante das análises dos filósofos e da epistemologia geral. Apenas recentemente, no início da década de 1990, químicos/filósofos têm construído a filosofia da química como um campo disciplinar emergente no quadro da filosofia da ciência geral. O objetivo deste trabalho é caracterizar esse recente campo de estudo por meio da abordagem dos principais problemas, atores e interrelações, para defender como uma fonte importante para o currículo de química.

Palavras-chave: filosofia da química; filosofia da ciência; química; educação química.

Chemistry and philosophy had little dialogue in the twentieth century. Despite its cultural importance, chemistry, the most central science, is, surprisingly, the most insular in philosophical questions and has not been a major subject of the philosophers' and of general epistemology analyses. Only recently, in the early 1990s, chemists/philosophers have been building the philosophy of chemistry as an emerging disciplinary field within the general area philosophy of science. The aim of this study is to characterize this recent field of study by approaching its core problems, actors and interrelationships to defend it as a major source for the chemistry curriculum.

Keywords: philosophy of chemistry; philosophy of science; chemistry; chemistry education.

Introdução

Este trabalho é parte de um projeto de pesquisa que tem como objetivo investigar as relações entre química, filosofia e currículo, através do debate do campo disciplinar da filosofia da química. Especificamente, este trabalho caracteriza o campo disciplinar da filosofia da química para, em momentos posteriores, utilizá-lo como referencial teórico para pensar estruturas, princípios e dinâmicas curriculares. Isso porque entendemos que muitos problemas do currículo e formação em química contextualizam-se na difícil relação entre filosofia e química. Isso gera problemas de consenso, diálogo e comunicação entre os vários discursos no sistema pedagógico da química. Por exemplo, a generalidade de filósofos da química defendem-na como uma ciência criativa, indutiva, prática, histórica, relacional, diagramática, classificatória, um exemplo de ciência interdisciplinar e tecnocientífica (VAN BRAKEL, 1999; SCHUMMER, 2006). Em contrapartida, seu ensino é dogmático, conservador, dedutivo e algorítmico. É um exemplo de ciência normal (VAN BERKEL, 2005). A química que se ensina é distante da química que se pratica. A prática química é hegeliana, o ensino é kantiano. Van Berkel (2005) identifica o currículo de química como isolado externamente e rígido internamente, caracterizado por uma orientação filosófica não explícita, e, implicitamente, orientado por uma filosofia e pedagogia reducionista. Isso faz o sistema pedagógico da química transmitir tacitamente as especificidades epistemológicas.

Há assim um trabalho de escrutínio próprio da filosofia da química na busca das respostas as questões básicas do seu sistema pedagógico que influenciará princípios de seleção, organização e decisões curriculares. O que é química? Para que? Onde? Como? E quando? São perguntas que, refletidas ou não, organizam o conhecimento considerado socialmente válido para integrar o currículo. Assim, se pensamos em um sistema pedagógico com caráter emancipatório e crítico, como o são a defesa do professor reflexivo, pesquisador, e dos campos de estudos, NOS (Nature of Science), HPS (History and Philosophy of Science), CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), temos que ter uma maior atenção a sua filosofia ao empoderar os professores; contribuir com uma teoria do ensino (estruturas sintáticas e substantivas, estrutura dos conteúdos, transposição didática); bem como com a maturidade profissional e organização dos saberes docentes. Para estes contextos, a relação entre filosofia e química deve ser problematizada, escrutinada, mapeada, cartografada. A isso fazemos uma primeira aproximação.

Difícil relação entre filosofia e química

Bunge (1982, p. 229) escreve que

[...] dada a popularidade e prestígio da química, é estranho que não exista uma correspondência filosófica. Publicações no campo são poucas. Nem mesmo distinguidos filósofos da ciência como

Meyerson, Broad e Bachelard, que iniciaram como químicos, fizeram qualquer contribuição significativa para a filosofia da química: eles preferiram escrever sobre outras ciências.

A citação acima reflete a relação entre química e filosofia. As grandes formulações da epistemologia e da filosofia, de Descartes a Kant, de Comte a Duhem, de Popper a Feyerabend, estão baseadas na concepção física do mundo. Mesmo na atualidade, quando a filosofia da ciência divide-se em epistemologias regionais, a filosofia da química encontra-se, até bem pouco tempo, ausente. Isso evidencia o pouco diálogo entre químicos e filósofos durante o século XX¹. Esse diálogo é retomado, de forma mais sistemática, somente no início dos anos 1990, no que vem a se constituir o campo disciplinar da filosofia da química que problematiza sua autonomia, identidade disciplinar e seus fundamentos e especificidades metodológicas, ontológicas e epistemológicas.

Segundo Bensaude-Vincent & Stengers (1992, p.36) a química é uma ciência antiga e extremamente nova, origina-se nas artes práticas como tinturaria, metalurgia, cerâmica e abarca a nano e biotecnologia da atualidade. A química atravessa do inerte ao vivo, do microscópico ao macroscópico, cria seu próprio objeto, sua própria linguagem, pensa com as mãos², produz, além de ideias e representações sobre o mundo, também objetos inteiramente novos e artificiais, elaborando sua própria ideia de natureza. A segunda revolução industrial e a revolução verde foram essencialmente influenciadas pela química. Desde o meio ambiente à saúde, da agricultura à biologia molecular, da indústria pesada à cosmologia, dos novos materiais à nanotecnologia, a química modela nossa compreensão de mundo. Como atribuir identidade a uma ciência que está em todo lugar e em lugar algum? Inicialmente, é uma arte prática, seja metalúrgica ou tintureira; depois, torna-se uma disciplina ao serviço da medicina e, sistematizada no século XIX, finalmente alcança maturidade teórica no século XX com o advento da física quântica.

Para Bensaude-Vincent (2009, 1998, 2005), a química, alternativamente servidora, mestre ou rival de suas vizinhas (biologia e física), não acabou ainda de redefinir sua identidade e seu lugar na enciclopédia. Na atualidade, como um modelo de tecnociência que combina o conhecer e o saber fazer, o real e a representação, focada na performance e na produtividade, que trabalha com uma rede variada de atores, poderia tornar-se a ciência referência do século XXI (BENSAUDE-VINCENT & STENGERS, 1992). Considerada uma arte sistemática por Kant³, devido à impossibilidade da matematização, atravessa o século XX com sua identidade fortemente vinculada mais aos

1 Cardoso (2000) coloca que a preocupação essencial das associações de químicos tem sido em relação ao estatuto profissional dos seus membros e à defesa dos interesses dos produtores de bens químicos, tendo sido deixado pouco espaço para grupos comprometidos com temas de interesse mais geral.

2 Essas referências são, reiteradamente, atribuídas ao eminente químico Marcellin Berthelot (1827-1907).

3 Kant, na obra *Opus postumum*, veio parcialmente a retratar-se dessa posição, principalmente por causa do conhecimento que tinha de Lavoisier, seu contemporâneo.

processos industriais que a seu status científico e filosófico que se pensava ser entendido nos domínios da física (LASZLO, 2006).

Esse domínio da física ampliou-se a partir da década de 1920, com o desenvolvimento da teoria atômica e a explicação física da ligação química, bem como propicia o desenvolvimento dos métodos instrumentais de análise e medida (BAIRD, 1993; ROTHBART, 1999), cruciais para a química. O grande desenvolvimento da física quântica abre a possibilidade de a química ser apenas um braço da física ou uma física aplicada, focada em aspectos fenomenológicos, com seu quadro explicativo no domínio da física, eliminando, assim, problemas filosóficos genuínos e sua autonomia disciplinar. O famoso Dictum de Paul Dirac (1929) de que o todo da química e parte da física é inteiramente explicado pela Mecânica Quântica foi um fator importante para o negligenciamento da química no contexto filosófico.

A partir dos anos 1990, com o rápido avanço das ciências da vida e da biologia, que se moleculariza, a química é pensada como uma ciência de serviço. Muitos departamentos de química foram encerrados e até periódicos trocaram seus nomes para ciências moleculares. Apesar da crise iminente da química, estudos cientométricos (SCHUMMER, 1997a, 1997b) mostram-na como o campo disciplinar de maior produtividade científica, representando quase 50% do total. Para atualizar-se na química é necessário ler cerca de 2000 páginas por dia.

A institucionalização da filosofia da química

Apesar da sua quase onnipresença, a química apresentou-se, até meados dos anos 1990, quase invisível aos filósofos (VAN BRAKEL, 2006, 1999, 1998). Isso mostra um aparente paradoxo: ao tempo em que é uma ciência central (BALABAN; KLEIN, 2006) no nível das práticas, a química é marginal na discussão dos fundamentos conceituais e filosóficos (VAN BRAKEL, 1999); é a ciência mais produtiva, e a que menos discute os seus princípios (SCHUMMER, 1999). Não se interessar por filosofia é uma característica dos químicos, pelo menos no século XX

[...] químicos têm escolhido tacitamente algumas doutrinas filosóficas; mas outras doutrinas importantes são sérios obstáculos para química. O negligenciamento foi tão completo que questões filosóficas debatidas durante as duas ou três gerações passadas são completamente negligenciadas pelos químicos. Diferentemente de físicos e biólogos, muitos químicos não têm dado atenção a questões debatidas na filosofia. Questões correntes como o relativismo e a reconstrução social da ciência não são discutidas em jornais e encontros. Se você perguntar para um químico típico sobre realismo vs anti-realismo, você receberá uma resposta em vazio. (GOOD, 1999, p.186).

Buscando-se aproximar esses dois campos, um locus importante de discussão teve lugar no Erlenmeyer-Colloquies for the philosophy of chemistry, sob a coordenação da Universidade de Marbug, e abordou problemas epistemológicos da química e os

problemas filosóficos que surgem da interação entre a prática e a teoria química e a reflexão filosófica, no contexto da cultura contemporânea. O primeiro congresso foi organizado em 1993, com o tema “Perspectivas filosóficas da química”; o segundo, em 1995, sobre “A linguagem da química” e o terceiro, realizado no ano de 1996, analisou a autonomia da química e a relação da química com outras ciências, nomeadamente a Biologia e a Física.

O ano de 1994⁴ marca o estabelecimento social da filosofia da química, neste ano foram realizados encontros internacionais em Londres, LARGUE, Marbug e em Roma (VAN BRAKEL, 1999). Nessa década houve esforços de muitos países, particularmente da Alemanha, Itália e Holanda, bem como um apelo da indústria química para que se buscassem relações com as humanidades, com o objetivo de melhorar a imagem pública da química, geralmente associada a desastres ambientais. Em 1997 foi estabelecida a International Society for the Philosophy of Chemistry, que, desde então, realizou 17 encontros anuais, o primeiro em Ilkey, Reino Unido, em 1997. Dois jornais foram lançados, HYLE⁵, International Journal for Philosophy of Chemistry, em 1995, editado por Joachim Schummer da Universidade de Karlsruhe, Alemanha, e Foundations of Chemistry⁶, em 1999, editado por Eric Scerri, UCLA, USA. Em 1997 e 2007, a revista Synteses dedicou edição especial à filosofia da química. No dia 14 de março de 2011, foi publicada uma sessão na Stanford encyclopedia of philosophy (WEISBERG, 2011) e lançado o Hand Book of philosophy of chemistry⁷.

Atualmente a filosofia da química já adquiriu espaço nos mais importantes congressos de filosofia da ciência e conta com uma vasta e diversificada literatura, com mais de 60 monografias e mais de 700 artigos (SCHUMMER, 2006) e uma vasta comunidade internacional de químicos e filósofos. Os países que mais contribuem para esse campo disciplinar são USA, Reino Unido, Alemanha, França, a Itália, Bélgica e Estônia. Brasil, a segunda maior comunidade de química no mundo, tem ainda uma presença pouco expressiva e tem sido integrado principalmente pelo vize da educação. No ENEQ (2012) a filosofia da química foi inserida como um tema de pesquisa no ensino de química.

A filosofia da química é um campo essencialmente interdisciplinar, maioritariamente formado por químicos e filósofos, os quais são investigadores e professores universitários. Nos USA caracteriza por químicos filósofos, na Europa por filósofos químicos. A revista Foundations of Chemistry tem uma orientação analítica, a HYLE orientação prática. O que demonstra a grande divisão anglo-saxônica e

4 Van Brakel (1999) considera o congresso ocorrido no museu de Londres em março de 1994 como o marco da institucionalização do campo disciplinar na filosofia da química.

5 O projeto da revista Hyle já era coordenado, desde 1993, por Joachim Schummer, inicialmente em língua alemã e apenas em versão eletrônica. Somente em 1997, a revista passou a ter edição impressa em língua inglesa.

6 A foundations of chemistry teve início em 1999 sob liderança do professor Eric Scerri (UCLA) que fez seu doutorado com tema da redução da química via mecânica quântica e tem pesquisado essencialmente a tabela periódica.

7 Ver em: <http://plato.stanford.edu/entries/chemistry/>. Acesso em: 20 abr. 2015.

continental. A revista HYLE vem analisando temas, como: ética em química; o papel da visualização, da estética na produção química; os modelos e as representações químicas; a nanotecnologia e a bionanotecnologia. A revista *Foundations of Chemistry* tem priorizado questões de fundamentos da química, tendo investigado principalmente os seguintes assuntos: tipos naturais; tabela periódica e as questões fundacionais da química; reducionismo e autonomia da química; natureza das explicações químicas, nomeadamente a importância da tabela periódica. A educação recebeu pouca atenção.

O negligenciamento da filosofia da química

Dentre os primeiros assuntos de investigação estão as razões do negligenciamento da química no contexto da filosofia e da filosofia da ciência, bem como a especificidade e a autonomia da química no contexto das outras ciências e sua possível redução à física. Por que razão (Quadro 1) a filosofia e a filosofia da ciência não tiveram interesse na química como objeto de reflexão, e a química não desenvolveu instrumentos e práticas reflexivas? Esse é um problema transversal ao currículo da filosofia, da filosofia da ciência e da química e reflete a imagem da ciência privilegiada no século XX e ainda hegemônica da educação científica.

Quadro 1. Fatores que levaram ao negligenciamento da química no contexto filosófico

Tecnologia	Proximidade com a tecnologia
Pragmatismo	Raízes históricas do pragmatismo e o desinteresse por questões metafísicas.
Reduccionismo	Redução à física e o positivismo lógico – um dos principais fatores.
Questão fundacional	Ausência de uma questão filosófica fundadora (VAN BRAKEL, 1999).
Teoria científica	Nenhuma teoria científica de relevo (teoria da evolução ou teoria da gravitação (VAN BRAKEL, 1999).
Currículo da filosofia e da filosofia da ciência	Influência da mecânica na disciplinarização da filosofia (SCHUMMER, 2006).
	Legado kantiano e sua caracterização da química como arte sistemática (SCHUMMER, 2006).
	Influência da física na profissionalização da filosofia da ciência (SCHUMMER, 2006).
Metodologia	Por possuir pluralidade metodológica (GOOD, 1999).
Antirrealismo	Posição antirrealista de doutrinas como o positivismo lógico, instrumentalismo, empirismo estrito (Good, 1999).
Atomismo	Contexto histórico conflituoso do atomismo (GOOD, 1999).
Imagem da química	Imagem manifesta (quimiofobia) e imagem científica (reduccionismo) (CARDOSO, 2000).

Fonte: Good (1999), Van Brakel (1999), Schummer (2006).

A proximidade da química com a tecnologia, suas raízes históricas no pragmatismo e o seu desinteresse pelas questões metafísicas ao longo dos últimos dois séculos, fez a química encerrar-se em uma estrutura metodológica extremamente útil e eficiente e negligenciou aspectos metafísicos de seu próprio campo (VAN BRAKEL, 1999; TOMASI, 1999). O padrão de desenvolvimento da química foi antimetafísico quase por todo o século XX. A linguagem da química privilegiou, essencialmente, quantidade macroscópica como: peso, volume, temperatura, medidas com equipamento padrão de laboratório, dentre outros. Outros aspectos da disciplina como sua ontologia, linguagem diagramática, valores, estética, dentre outros, foram negligenciados ou aceitos como úteis para formulação de projetos de pesquisa, contudo, pouco refletidos.

Para Van Brakel (1999), a crença, predominante durante o século XX, do reducionismo da química à física, via fisicalismo⁸ e também a ausência de uma teoria científica de relevo, como a teoria da gravitação da física ou da evolução na biologia e ausência de uma pergunta filosófica fundadora que unifique os esforços cognitivos do campo, são também fatores importantes. Para Schummer (2006), outra razão é a própria história disciplinar da filosofia e sua relação com a matemática e o legado kantiano, que se inspirou na mecânica como modelo de ciência e que continua a ser referência tanto da filosofia, enquanto disciplina, como da filosofia da ciência (SCHUMMER, 2006). Posteriormente, com a profissionalização da filosofia da ciência, iniciada na década de 1930, sob influência da física teórica (particularmente das questões da mecânica quântica e da relatividade), a filosofia da física veio a ser o modelo da própria filosofia da ciência, relegando as outras ciências à categoria de Ciências Especiais.

Good (1999) também defende como fator importante a hostilidade histórica de filósofos importantes para com o conceito de átomo e contexto histórico conflituoso do atomismo, desde a antiguidade. Mesmo em tempos recentes, a teoria atômica moderna, a partir da quantificação das massas atômicas relativas por Dalton, só foi consensualmente aceita cem anos após sua proposição. Nomeadamente Pierre Duhem e Ostwald, ganhadores de prêmios Nobel de Química, não aceitavam a teoria atômica.

Outra importante razão é a influência antirrealista de doutrinas filosóficas como o positivismo lógico, o instrumentalismo e o empirismo estrito. Apesar de terem perdido força, essas doutrinas são, ainda, muito influentes. A epistemologia positivista, ao centrar-se na análise lógica, no conhecimento “a priori”, na pouca relevância e, conseqüentemente pouca investigação da prática científica, e ao dirigir sua atenção

8 Segundo o qual as últimas explicações seriam sempre dadas pelo comportamento de entidades sub-microscópicas. Numa vertente mais analítica tem sido defendido a impossibilidade da redução da Química à Física, seja pela impossibilidade da axiomatização da tabela periódica, seja pela impossibilidade de conceitos centrais da Química como quiralidade, composição, afinidade não se reduzirem a mecânica Quântica (SCERRI, 2007). Numa vertente mais prática, tem sido defendido que a Química é uma ciência de transformação de substância e portanto, mas próxima de um realismo de entidade, realismo operativo, contextual e prático (BENSAUDE-VINCENT, 2009; VIHALEMM, 2007).

para a explicação e não para a intervenção⁹, captando, assim, mais a ciência ideal do que a ciência real, negligenciou as práticas científicas, as imagens, os instrumentos, o laboratório e o contexto da descoberta. Esses elementos são importantes para uma ciência como a química, focada especialmente na intervenção e na ação que usa muito a razão abduativa, a retrodição, a busca da melhor explicação, os quais que não tiveram grande reconhecimento na filosofia da ciência antes dos anos 1980 (GOOD, 1999).

A relação da química com a sociedade é outro fator. Apesar dos enormes êxitos da química, sua imagem manifesta é muito problemática por ela estar relacionada a problemas ambientais decorrentes do uso de produtos contaminantes, pesticidas, da degradação da camada de ozônio (CARDOSO, 2000). A química está ausente, também, na literatura científica cotidiana¹⁰. Quase não existem estudos sobre a emoção dos químicos com seu próprio campo. A comunicação entre a química e a sociedade é feita, primordialmente, por meio da indústria química, que, obviamente, serve a propósitos diferenciados do objeto científico. A falta de divulgação de aspectos fundamentais da química contribui para que sua imagem perante a sociedade seja distorcida.

Embora a filosofia da ciência tenha negligenciado a química, não é verdade que não tenha havido discussões filosóficas sobre a química, antes de 1990. Para Schummer (2006), isto ocorreu porque os filósofos ignoraram o que os clássicos tinham dito sobre a química, vazio que foi preenchido por estudiosos, nomeadamente historiadores da química. Muitos artigos de químicos foram publicados com temas da filosofia da química. Por exemplo, Mittasch's (1948) refletiu sobre a noção de causalidade em química e Polanyi (1966) desafiou noções recebidas das metodologias racionalistas da ciência, chamando a atenção para os fatores sociais e o papel do conhecimento tácito, fortemente presente em química, como o reconhecimento de padrões e o pensamento heurístico (NICOLE et al., 2010).

Paneth (1962), utilizando o referencial kantiano, em um trabalho feito em isotopia, explorou o uso de dois diferentes conceitos de elemento em química, um conceito transcendental e inobservável (elétron, átomo, partículas), e um empírico, observável e operacional (substância pura). Caldin (1959, 1961) defendeu que o método popperiano falhava no entendimento do papel dos experimentos no campo das ciências experimentais e da forma como os cientistas trabalham com as teorias. Woolley (1978) iniciou um debate, em 1978, com a publicação de um artigo intitulado "Must a Molecule Have a Shape?"¹¹, no qual argumenta que, do ponto de vista quântico, a noção de estrutura molecular se contrapõe à noção de estrutura clássica e que a estrutura química não pode ser deduzida da mecânica quântica. Primas (1981) dedicou um livro inteiro

9 Corresponde ao ainda dominante modo 1 de produção científica, que é baseado na explicação, enquanto que o menos anacrônico modo 2, baseado na resolução de problemas, ainda está muito pouco desenvolvido, especialmente nos meios acadêmicos.

10 Uma importante obra sobre divulgação científica da química é o livro *O mesmo e não mesmo* (HOFFMANN, 2007).

11 Deve uma molécula ter forma? (tradução nossa)

à questão do reducionismo, argumentando que a mecânica quântica não permite obter indicações sobre objetos químicos sem suposições empíricas.

Também a filosofia da química esteve presente em autores de países comunistas, principalmente na dialética de Engels, na qual é recorrente o uso de exemplos da química para mostrar a transição da mudança quantitativa para a mudança qualitativa. Van Brakel (1999) aponta que o desenvolvimento da filosofia da química, nos países comunistas, deve-se principalmente à influência de Hegel, que utilizou, em sua dialética, muitos exemplos da química, bem como à grande fusão entre educação, filosofia e ensino nos currículos escolares. Até 1950, a produção em filosofia da química de um país pequeno como a Romênia correspondia a toda a literatura em língua inglesa. Assim, para Schummer (2006), a negligência da química resulta também das escolhas arbitrárias e anacrônicas das autoridades.

Programa de pesquisa nuclear da filosofia da química

A procura da desejável visibilidade da química no contexto da filosofia da ciência tem orientado um programa mínimo e inicial da pesquisa em filosofia da química (Quadro 1). Um primeiro grande tema de pesquisa é sobre a metafísica das entidades e a materialidade dos objetos da química (HARRÉ; LLORED, 2010; NEEDHAM, 2002). Quais são os objetos básicos da química? São observáveis, ou não? São tipos naturais? São redutíveis? Nesse âmbito, situa-se, também, a discussão acerca do estatuto ontológico e epistemológico de conceitos como elemento, átomo, molécula e dos conceitos relacionados à estrutura e à fase, e o problema da referencialidade e da organização, assim como dos sistemas de classificações. Qual os critérios de classificação e quais os fundamentos do sistema de classificação químico? É possível axiomatizar a tabela periódica? Já que existem mais de 1000 propostas de tabela periódica, existe a ideal?

Alguns artigos, nessa área, buscaram refletir com base em Kant (RUTHENBERG, 2009) e Aristóteles (NEEDHAM, 2002; HARRÉ; LLORED, 2010). A química lavoiseiana utiliza o conceito empírico e operacional de substância. A química atual usa um conceito de elemento inobservável, havendo, assim, uma transferência de entidades nominais para entidades reais (HARRÉ; LORRED, 2010), da química descritiva para a química teórica. As entidades químicas têm sido caracterizadas por uma grande polissêmia (EARLEY, 2005). Quanto aos elementos básicos, eles não podem ser moléculas, pois existem substâncias iônicas; não podem ser as substâncias puras, pois existem muitas substâncias que não podem ser isoladas e só existem artificialmente.

Também tem sido discutido o realismo em química. Por ser a química uma ciência voltada, primordialmente, para as transformações de substância, para o estudo de propriedades materiais, com um conhecimento dirigido, notadamente, para a ação e a intervenção, filósofos da química têm elaborado um pensamento caracterizado por um realismo operativo (BENSAUDE-VINCENT, 2009) e por um realismo prático e contextual (VIHALEMM, 2007).

Quadro 2. Principais linhas de pesquisa no início da filosofia da química.

Linha de pesquisa	Temas mais discutidos
Materialidade dos objetos	Tipos naturais, referência, sistema de classificação, propriedades materiais e organizações das redes de relações, tabela periódica (SCHUMMER, 2006; HARRÉ, 2005; NEEDHAM, 1996).
Conceituação e representação	Linguagem icônica e diagramática, modelos, a explicação estrutural; dualidade e circularidade dos conceitos (SCHUMMER, 2006; GOODWIN, 2008).
Questões fundacionais	Axiomatização da tabela periódica; teoria dos grupos; simetria e topologia (SCHUMMER, 2006; EARLEY, 2004, 2006, 2011).
Relação com física e biologia	Reduccionismo/emergentismo; autonomia da química; ciência de serviço.

Fonte: Schummer (2006)

A *centralidade* e o significado da conceitualização dessa materialidade é outro tema de investigação. A química tem uma *linguagem própria* (SCHUMMER, 2006; GOODWIN, 2008), principalmente no que diz respeito aos modelos e à explicação estrutural, com uma diagramaticidade e uma semiótica próprias. Os conceitos centrais da química apresentam dualidade: ácido/base, nucleófilo/eletrofílico, fraco/forte, eletronegativo/eletropositivo, e circularidade: para definir o que é ácido, é necessário definir o que é base. Os modelos e as representações têm sido um tema de estudo em edições especiais da revista *HYLE*. Suas principais características são: polissêmia, pragmática, estética, iconicidade e intuição. Existem muitos modelos macro para uma só estrutura micro, assim como existem estruturas micro sem a correspondência de um modelo macro, e o nível macro não pode ser suficientemente representado por uma única estrutura.

A natureza e o lugar da teoria e as *questões fundacionais* em química têm sido outro tema de investigação (SCHUMMER, 2006; EARLEY, 2004): É possível axiomatização da tabela periódica? Qual a matemática fundacional da fenomenologia química? Teoria dos grupos, topologia, simetria, teoria dos sistemas? Um último tema tem sido a *relação* da química com a física e a biologia (SCERRI, 1999, 2006), que cruza com o problema do reduccionismo e da autonomia da química e tem ocupado muitos filósofos da química. Essa questão tem sido posta dentro do debate do reduccionismo, do emergentismo e do pluralismo. A relação da física com a química pode ser resumida no famoso *dictum* de Paul Dirac (1929): “As leis físicas fundamentais necessárias para boa parte da física e a totalidade da química são conhecidas pela mecânica quântica”. Se essa afirmação fosse verdadeira, a totalidade dos problemas filosóficos da química seriam, na realidade, da filosofia da física.

No século XX, a química foi refém da física através da mecânica quântica (por seu objeto se referir a entidades submicroscópicas) e da mecânica estatística (por tratar de muitas dessas entidades). A física detinha para si o domínio e o projeto de explicação e

redução do universo da química (COSTA PEREIRA, 1995). Atualmente, a biologia, que comanda nitidamente a agenda científica do século XXI, tem transformado a química - a ciência central, mas sem território - numa ciência ao seu serviço.

A redução ontológica da química à física é menos problemática. A redução epistemológica consistiria em questionar se a descrição química atual pode ser reduzida à fundamental descrição atual da física e a suas consequências explicativas. Scerri e McIntyre (1997) argumentam que não está claro que as leis da química, se realmente existirem, possam ser axiomatizadas e, muito menos, deduzidas de outras disciplinas. Existem conceitos como, composição, mistura, quiralidade, dentre outros, que são essencialmente químicos e não podem ser reduzidos à física. A química, pelo fato de ser baseada largamente em reações que procedem de átomos para moléculas, de moléculas para complexos ou de monômeros para polímeros, caracterizadas pelo aumento da complexidade molecular em direção de novas propriedades, pode ser vista como uma personificação da emergência (LUISE, 2002). A noção de emergência na química é, assim, um lugar comum, o que coloca sérios limites ao programa reducionista. A química apresenta um sistema extratificado de níveis, donde o conceito de níveis ganha especial importância.

Outros filósofos da química (SCHUMMER, 1997; VAN BRAKEL, 1997) também apontam que, ao considerar-se a química uma ciência da transformação de substâncias, uma ciência interventiva, analisada pela prática, o problema do reducionismo deixa de ter centralidade. A química pode, então, ser caracterizada por um realismo prático, experimental, de entidades (VIHALEMM, 2011). Filósofos também têm apontado uma autonomia ontológica da química, via uma alternativa que desemboca em uma espécie de pluralismo (LOMBARDI & LABARCA, 2005) que tem se estendido para uma perspectiva filosófica defendida recorrentemente e que pode transformar-se em um dos fundamentos do currículo. Mapear o pluralismo químico pode identificar os vários estilos cognitivos, epistemológicos e didáticos. Ribeiro e Costa Pereira (2012) identificam cinco domínios do pluralismo químico: classificações, diagramaticidade, processualidade, fenomenotécnica e dimensão tácita. Cada uma destas dimensões tem especificidades filosóficas, e pedagógicas.

Programa de pesquisa da filosofia da química

No intuito de evidenciar o debate e estruturar o campo disciplinar da filosofia da química, dois programas de pesquisa de maior relevo têm sido constituídos. Um primeiro programa consiste em redescobrir o que os clássicos disseram sobre química. Um segundo programa visa à adaptação de conceitos da filosofia à química. No quadro 3, apresenta-se algumas relações feitas entre alguns clássicos da filosofia e problemas da química.

Tem-se discutido o legado de Kant (LEQUAN, 2000; VASCONI, 1996), principalmente na obra *Opus postumus*, traduzido para o inglês apenas em 1992, na qual Kant, após o contato com a obra de Lavoisier, faz uma releitura e toma a química como

uma ciência própria. Inicialmente Kant considerava a química uma arte sistemática, por ela possuir apenas generalizações empíricas e intuições *a priori*, não podendo ser matematizada, e por ser uma ciência *a posteriori* e, portanto, não propriamente uma ciência.

Aristóteles tem sido retomado principalmente para pensar os tipos naturais da química (NEEDHAM, 2000, 2002a, 2002b). Nesses textos, tem sido muito referido o trabalho de Pierre Duhem, principalmente a obra *Le mixte et la combinaison chimique* (1902), traduzida para o inglês somente em 2002, na qual o autor busca uma ontologia para a química macroscópica, em alternativa ao corpuscularismo.

Quadro 3. Alguns clássicos da filosofia e alguns problemas relacionados à química

Clássico	Filósofo/químico	Problema
Leibniz	Guillermo Restrepo (2011)	A química tem uma língua filosófica semelhante ao sistema de Leibniz.
Cassirer	Schummer (1997)	A química tem um pensamento simbólico.
Kant	Paneth	Dualidade do conceito de elemento.
	Van Brakel, 2006 ^a	Negligenciamento da química: consideração da química como ciência imprópria.
Aristóteles	Duhem Needham (2002)	Uma vista aristotélica da química, como alternativa à vista corpuscular, baseada no entendimento fenomenológico termodinâmico derivado da ideia aristotélica de “duas opiniões contraditórias do misto”.
Peirce	Seibert (2001)	Influência da química em seu sistema filosófico. Representações icônicas, pragmatismo e lógica relacional.
Bachelard	Nordmann (2006)	Sob influência da química, Bachelard cria uma noção dinâmica de substância.
	Bensaude-Vincent (2009)	O conceito de fenomenotecnia e a compreensão do real como um processo de realização, são uma influência da química.
Whitehead	Stein, 2004 Joseph Earley, 2006, 2008	As enzimas devem ser entendidas nos seus contextos. Realismo estrutural de processos mais adequados à química.
Hegel	Van Brakel (1999)	Utilizou a química para ilustrar a dialética da quantidade e da qualidade. A filosofia da química poderia ser uma parte substancial da filosofia da natureza de Hegel.
Polanyi	Mary Jonh Nye	O conhecimento tácito na química.

Fonte: elaboração do autor

Seibert (2001) considera que a química esteve no coração do trabalho filosófico de Charles Sanders Peirce, nomeadamente o pragmatismo, o pensamento relacional,

a teoria dos grafos e a semiótica. Peirce trabalhou com a química analítica qualitativa desde os oito anos de idade e teve contato com a química orgânica já em seu início. No final do século XIX e início do século XX, houve um intenso desenvolvimento da química orgânica, de acordo com a qual os objetos já não podiam ser determinados e instanciados simplesmente pela massa, peso e conectividade, sendo necessário o desenvolvimento de novas formas de modelos e representações. Era necessária a criação de uma grafia própria para a química, de uma semiótica própria.

Restrepo (2011) afirma que a química é uma língua filosófica, que seu sistema é muito próximo do sistema filosófico de Leibniz. Van Brakel (1999) considera que a filosofia da química poderia ser uma parte considerável da filosofia natural de Hegel. Têm sido feitas aproximações de muitos outros filósofos, como, por exemplo, Schelling, Schopenhauer, Herschel, Comte, Broad, Alexander, Mill, Cassirer. Bensaude-Vincent (2005) considera que a tradição francesa foi a única corrente filosófica que não negligenciou a química e que influenciou a filosofia bachelardiana, com o conceito de fenomenotecnia e no entendimento do real como realização. Segundo a mesma autora, a química também foi importante para a concepção de teorias como sistema de classificação de fenômenos em Pierre Duhem e no realismo de Meyerson.

Nordmann (2006) vai mais longe e considera que a química influenciou Bachelard a introduzir uma concepção química e dinâmica de substância, vislumbrando a possibilidade de uma metaquímica. Segundo ele, a metaquímica, indiferente ao problema da existência e da fundação última da realidade, concerne a processos pelos quais a realidade é transformada. A metafísica especifica as condições de possibilidade do conhecimento objetivo, e a metaquímica informa e traça a prática científica. Que tipos de transformações produzem uma representação durável do mundo, de forma que ele possa ser pensado como uma representação? Para Nordmann (2006), “o sentido da metafísica é construir uma imagem objetiva e cognoscível do mundo, a causa formal e final da investigação científica. A metaquímica consiste em fazer da estabilidade sintética das representações a causa material e eficiente da investigação científica”.

No ensino de ciências e de química, Gaston Bachelard é lido como um filósofo da física (LOPES, 1998; LOBO, 2006). Dar-se atenção na obra de Bachelard nas geometrias não euclidianas e mecânica quântica, levando ao desprestígio livros como o pluralismo coerente da química contemporânea, dedicado exclusivamente a química e que somente em 2007 foi traduzido para o português. Logo, há uma necessidade de entender Bachelard como um autêntico filósofo da química.

Outro programa de pesquisa da filosofia da química tem sido aproximar conceitos da própria filosofia como lei, modelo, previsão, explicação, tipos naturais, substância e processos, construção de modelos e classificações, o papel dos instrumentos na pesquisa, métodos de pesquisa e sentido da exploração do novo, relações entre ciência e tecnologia, realismo científico e ética. Também têm sido analisados os conceitos de elemento, substância pura, espécies químicas, compostos, afinidade, reação química, átomo, estrutura molecular e aromaticidade.

Uma característica das teorias químicas é que, diferentemente da física, que busca explicar fenômenos recorrendo, na maioria das vezes, ao princípio da causalidade, na química as teorias são narrativas, tem caráter aproximado, são modelos e representações que não pretendem falar necessariamente sobre o mundo, mas servir de ferramenta para intervir e transformar a natureza. Modelos químicos não necessariamente têm referentes, mas objetivam operar como ícones representacionais que permitam intervir no real.

Os químicos são céticos em relação às grandes narrativas e à universalidade das teorias e modelos construídos. Diferentemente dos físicos, eles tratam da matéria em sua especificidade, criando narrativas que relacionam o micro e o macro. Contam história enquanto trabalham no laboratório. E por trabalhar com propriedades materiais, propriedades da matéria em sua especificidade e não em sua generalidade, uma característica do estilo de pensamento da química é a lógica relacional e processualidade (BERNAL; DAZA, 2010; SOUKUP, 2005).

Em um importante artigo Schummer (1998) considera que o conhecimento químico pode ser entendido logicamente como uma rede de relações, na qual os nós da rede são as substâncias puras, empiricamente determinadas, e as conexões são as diversas relações químicas. A química lida com propriedades materiais, objetos empíricos, e isto requer um conhecimento sistemático em nível experimental, uma clarificação das espécies químicas e das propriedades materiais; uma série de sistemas de classificação (LEFÈVRE, 2011) das espécies químicas, que não são passíveis de inferências dedutivas; e uma fundamentação apoiada na teoria das fórmulas estruturais. Essa descrição do conhecimento químico aproxima-o de uma estrutura reticular que lhe confere um alto poder de sistematicidade e previsibilidade. As classificações procedem por similitude, dependentes de uma diferenciação conceitual e de um controle empírico de seu poder discriminador do real.

Quanto aos modelos, filósofos da química têm apontado que eles mostram o que é teoricamente possível e não o que é real. Dessa forma, uma síntese química não pode ser deduzida por meio de um conjunto de leis. Átomos e moléculas são apenas “atores no drama”¹² da transformação química (BENSAUDE-VINCENT, 2009). Tontini (1999) atenta para a estrutura molecular como diferenciador da química. Esse conceito unifica uma série de outros, como valência, reação e ligação química, e organiza uma máquina operacional extremamente eficiente das sínteses químicas, ramo científico mais produtivo (SCHUMMER, 1997b). Para Tontini (1999), essas operações são parcialmente dependentes de uma visão realista dos químicos.

Bensaude-Vincent (2009) identifica que a química distingue-se das outras ciências por criar o seu objeto e pela supremacia da relação sobre a substância; da representação sobre a realidade e pelo realismo operativo. A química instancia uma

12 Bensaude-Vincent (2009) e Hoffmann (2007) têm usado esse termo recorrentemente.

epistemologia do aprender fazendo, em uma praxis de laboratório¹³, não existindo um ponto de vista transhistórico. Apresenta uma filosofia intercultural e intersubjetiva. Dessa forma, o contexto filosófico da química é mais bem caracterizado por um pluralismo epistemológico, ontológico e axiológico, por uma ciência da praxis. Caracterizar o pluralismo é meta fundamental da educação química (RIBEIRO; COSTA PEREIRA, 2012).

Além de questões metafísicas, epistemológicas e metodológicas comumente privilegiadas pela filosofia da ciência, a filosofia da química tem estudado temas como ética e química (duas edições da *HYLE*); estética e visualização em química, (duas edições da *HYLE*), e outros ligados à nanotecnologia, bionanotecnologia e profissionalidade.

Apesar de a filosofia da química ainda estar na sua infância e ainda não possuir uma agenda de problemas e tópicos de pesquisa bem definidos e consensuais, Schummer (2006) alerta que alguns temas, como a questão do reducionismo, a redescoberta dos clássicos e a adaptação dos conceitos da filosofia para química devam ser considerados centrais. Outras questões importantes para a filosofia da química em pesquisas futuras são comentados a seguir.

Lógica em química: Trata-se, principalmente, de abordar sua estrutura relacional. Esse tema tem sido investigado e os resultados são que as propriedades em química não são substanciais, mas dependentes do contexto e, portanto, relacionais e, dessa forma, a química pode ser explorada dentro de uma lógica relacional.

Ontologia da química: Trata-se, principalmente, de entender o que o sistema de classificação diz sobre ontologia. Como criar um sistema de classificação que ordene mais de 20 milhões de novas substâncias?

Metodologia: Os conceitos de leis e teorias em química não devem cumprir somente uma função explicativa e preditiva, associada a qualquer ciência, mas devem também servir para a classificação e orientação da pesquisa, aplicada na criação e produção de novas substâncias.

Filosofia da linguagem e semiótica: A linguagem pictórica da química e a semiótica própria da química; associada à grande capacidade de operacionalização da linguagem e das representações químicas através das sínteses químicas.

Filosofia da tecnologia: A química possui uma longa história na relação entre indústria e a técnica, fortemente marcada em sua identidade disciplinar e potencializada no século XX, sendo um exemplo de tecnociência. Kovac (2001) considera a química um contexto privilegiado para investigar questões sobre profissionalismo e ética e tem explorado a relação entre ciência e tecnologia com base no conceito de quadrante de Pasteur, adaptado de Stokes (1997), e também no trabalho de Ziman (2000), com a diferença entre ciência acadêmica e pós-acadêmica.

Filosofia da natureza: Outro aspecto importante da filosofia da química relaciona-se com a Filosofia da Natureza e pode dar uma contribuição valiosa no tocante à oposição

13 Embora haja laboratórios em quase todas as ciências, segundo Bensaude-Vincent (2009), o laboratório é uma invenção da química.

que é feita entre a ideia de natureza e a noção diferenciada de natureza tida em química; as sínteses químicas criam um conceito próprio de natureza.

Filosofia da Literatura: a forma como a química é interpretada e integrada na literatura. Dentre as disciplinas básicas, a química é a menos representada na comunicação com a sociedade, por possuir poucos divulgadores científicos.

Ética: É outro tópico importante. Tem sido discutida, principalmente, a importância das sínteses químicas e seu valor como um fim em si mesmo, com um discurso científico implícito. Como os produtos da química são objetos reais, com grandes interferências humanas, os químicos necessitam ter um contrato com a sociedade muito bem construído, o que implica em muitos dilemas éticos. Os químicos desejam aperfeiçoar a natureza com seus produtos mais eficientes do que os produtos naturais (SCHUMMER, 2006); desejam superar Deus.

Estética: É um último tópico. Mais do que qualquer outro cientista, os químicos fazem uso pesado de todos os tipos de meios de visualização, a partir de desenhos simples de realidade virtual, instrumentos de papel (KLEIN, 2001). Além disso, os químicos afirmam, cada vez mais, a beleza de seus produtos sintéticos, mas não há evidência empírica de que essa seja também uma motivação para a investigação propriamente dita. Exigem-se investigações sistemáticas sobre o papel da estética na investigação química (SCHUMMER 2006; HOFFMANN, 2003). Em particular, a análise estética pode ajudar a compreender as questões cruciais da criatividade, investigação e inovação. Para Schummer (2006), enquanto os filósofos da física exploram o contexto da justificativa, a filosofia da química explora o contexto da descoberta.

Conclusão

A tradição Kant, Paul Dirac/mecânica quântica e realismo metafísico, de um lado, e o desprestígio social da química, de outro, têm impedido que a filosofia da química se desenvolva como campo de investigação com direitos iguais à filosofia da física e da biologia. Contudo, o campo disciplinar da filosofia da química, emergente e ainda na sua infância na filosofia da ciência, pode tornar-se um campo muito fértil para pesquisa e investigação da relação entre filosofia e ciência. É um campo científico marcadamente inscrito nas tensões entre ciência/técnica, academia/indústria, natural/artificial, útil/risco, além das grandes tensões e antinomias filosóficas, micro/macro, parte/todo, contínuo/descontínuo, substância/processos, conceito/empíria, nomotético/idiográfico (LAMŽA, 2010).

Tem-se caracterizado por forte inter-relação entre variados contextos (economia, indústria, academia), variados autores (professores, investigadores, industriais, engenheiros) e definições como ciência explicativa (modo 1)¹⁴, interventiva (modo 2),

14 Os termos modo 1 e modo 2 são dois modos de produção de conhecimento: o modo 1 refere a um conhecimento mais fundamentado na explicação (modelo da Física) e o modo 2 a um conhecimento mais voltado para intervenção (Química e tecnociência atual). O consenso é que um modo de conhecimento não anula o outro. No capitalismo avançado, porém, defende-se a existência do modo 2.

pós-industrial, pós-acadêmica (SJÖSTRÖM, 2006), e como uma tecnociência. Tudo isso coloca um forte componente axiológico e praxiológico e também a centralidade da ética, oposto ao que se verifica nos currículos. Filósofos da química têm reiteradamente qualificado a química como uma ciência complexa, operativa, criativa, inovativa, interventiva, heterogênea e pluralista, difícil de ser pensada e comunicada. A química tem sido reiteradamente caracterizada por vários tipos de pluralismo: ontológico (BACHELARD, 2009), metodológico (SCHUMMER, 1997, 2006), epistemológico (BACHELARD, 2009) e axiológico (KOVAC, 2002). Inscreve-se em variados estilos filosóficos, cognitivos e didáticos que devem ser mais bem mapeados. Tem-se verificado ao menos cinco estilos que devem ser mais bem refutados: classificações, diagramaticidade, processualidade, fenomenotecnia e dimensão tácita.

A química é uma ciência real, impura, não se legitimou pela pureza de suas construções teóricas, mas pelo uso e poder de transformação e criação de seus produtos, sendo a ciência mais produtiva, não apenas de ideias e conceitos, mas também de objetos reais que mudam o mundo, elaboram um sentido próprio de natureza e desta forma coloca ética como um problema central, oposto ao que é visto nos currículos. A química cria seus próprios objetos, pensa com as mãos. Dessa forma, capitaneia as principais tensões entre a ciência, o mercado e a indústria, principal característica da ciência atual. Ficou ausente dos embates teóricos em torno da ciência no século XX, sendo tomada como um exemplo da ciência positiva, reduzida, mergulhada no instrumentalismo, no utilitarismo. Na atualidade, descobre-se uma ciência filosoficamente rica, inscrita em um pluralismo constitutivo, regulada por valores estéticos e imagéticos, e também não epistêmicos, como utilidade, funcionalidade e inovação.

A centralidade não só econômica, mas cultural e humanística da química, oferece um rico cenário para problematizações da aventura intelectual humana e deve estar presente no currículo. Contudo, esse campo ainda não foi suficientemente investigado. A maturidade das pesquisas em filosofia da química deve lançar luz sobre questões como: Qual a lógica das relações químicas? Em que o sistema de classificação química se relaciona com a ontologia? Quais relações entre ciência e tecnologia poderiam ser elucidadas na longa história da indústria química e de sua relação com a história acadêmica da química. Bem como dar respostas as questões clássicas e organizadoras do currículo: o que é a química? Quais os conhecimentos químicos são legítimos de serem ensinados? E como são organizados selecionados, por quem e para que finalidade e objetivos?

Uma maior aproximação entre filosofia e química pode melhor descrever a praxis química e assim ser possível propor um currículo fundamentado em sua especificidade de pensar, expressar e atuar no mundo. Também propomos a química crítica como um subcampo de pesquisa de inteiro valor. Esse campo poderia iluminar um currículo crítico na química, bem como auxiliar a posicionar a química entre os saberes.

Referências

- BACHELARD, G. **O Pluralismo Coerente da Química Moderna**. Contraponto, 2009.
- BAIRD, D. Analytical Chemistry and the Big Scientific Instrumentation. **Annals of Science**, v.50, p.267-290, 1993.
- BENSAUDE-VINCENT, B. Chemistry in the French tradition of philosophy of Science: Duhem; Meyerson; Metzger; Bachelard. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 36, n. 4, p.627-848, 2005.
- _____. The Chemists' Style of Thinking. **Ber.Wissenschaftsgesch**, 2009, p.365–378.
- _____. **Eloge du mixte**. Matériaux nouveaux et philosophie ancienne. Paris: Hachette, 1998.
- BENSAUDE-VINCENT, B; STENGERS, I. **História da Química**. Instituto Piaget, Lisboa, 1992.
- BERNAL, A.; DAZA, E. E. On the Epistemological and Ontological Status of Chemical Relations. **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.16, n.2, 2010.
- BUNGE, M. **Is Chemistry a Branch of Physics?**, Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie, 1982.
- CALDIN, E. F. Theories and the Development of Chemistry. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v.10, p.209–222, 1959.
- CALDIN, E.F. The Structure of Chemistry in Relation to the Philosophy of Science. London–New York: Sheed & Wards [1961, reprinted in **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.8, n.2, p.103–121, 2002.
- COSTA PEREIRA, D. Epistemologia da Química e Estrutura e Lógica dos seus Discursos. **Química**, SPQ, Lisboa, 1995.
- CARDOSO, J. L. V. Química y epistemología: una relación esquivada. **Rev. Colomb. filos. Ciencia**, v.1, n.2/3, p.9-26, 2000.
- DEL RE, G. Ontological Status of Molecular Structure, **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.4, p.2, p. 81-103, 1998.
- DUHEM, P. **Mixture and Chemical Combination, and Related Essays**, translated and edited, with an Introduction by Paul Needham, Kluwer, Dordrecht, 2002.
- DIRAC, P. A.M. **Quantum mechanics of many-electron systems**. Proceedings of the Royal Society of London, A123: 714-33, 1929.
- EARLEY, J. E. Would Introductory Chemistry Courses Work Better with a New Philosophical Basis? **Foundations of Chemistry**, v.6, p.137-160, 2004.
- _____. Why There is No Salt in the Sea. **Foundations of Chemistry**, v.7, n.1, p.85-102, 2005.

EARLEY, J. E. Some Philosophical Influences on Ilya Prigogine's Statistical Mechanics. **Foundations of Chemistry**, v.8, n.3, 2006.

_____. Ontologically Significant Aggregation: Process Structural Realism (PSR) in: **The Handbook of Whiteheadian Process Thought**, v.2, Michel Weber and Will Desmond, eds, ed. Frankfurt: Ontos Verlag, p.179-191, 2008.

GOODWIN, W. M. Structural formulas and explanation in organic chemistry. **Foundations of chemistry**, v.10, n.2, 2008.

GOOD, R. J. Why are chemists 'turned off' by philosophy of science? **Foundations of Chemistry**, v.1, n.2, p.65-95, 1999.

HARRÉ, R. Chemical kinds and essences revisited. **Foundations of Chemistry**, v.7, p.7-30, 2005.

HARRÉ, R.; LLORED, J. Mereologies as the grammars of chemical discourses. **Foundations of Chemistry**, v.13, n.1, p.63-76, 2010.

HOFFMANN, R. Thoughts on Aesthetics and Visualization in Chemistry. **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.9, p.7-10, 2003.

HOFFMANN, ROALD. **O Mesmo e o Não-Mesmo**. São Paulo: UNESP. Original de 1995, 2007.

KOVAC, J. Gifts and Commodities in Chemistry. **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 7, n.2, 2001.

_____. Theoretical and practical reasoning in chemistry. **Foundations of Chemistry**, v.4, p.163-171, 2002.

KLEIN, U. **Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences**. (Boston Studies in the Philosophy of Science, vol. 222). Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

LEFÈVRE, W. Viewing Chemistry Through its Ways of Classifying. **Foundations of Chemistry**, v.13, n.3, 2011.

LAMŽA, L. How much history can chemistry take? **HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry**, Berlin, v.16, n.2, p.104-120, 2010.

LASZLO, P. On the Self-Image of Chemists, 1950-2000. **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v. 12, n.1, pp. 99-130, 2006.

LOMBARDI; LABARCA, M. The Ontological Autonomy of the Chemical World. **Foundations of Chemistry**, v.7, p.125-148, 2005.

LOBO, S. F. **A licenciatura em química da UFBA: Epistemologia, currículo e prática docente**. 2006. 268 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

LOPES, A. C. A disciplina química: currículo, epistemologia e história. **Episteme**. Porto Alegre, v. 3, n. 5, p.119-142, 1998.

- MITTASCH, A. **Von der Chemie zur Philosophie**. Ulm: Ebner, 1948.
- NEEDHAM, P. Aristotelian Chemistry: A Prelude to Duhemian Metaphysics. **Studies in History and Philosophy of Science**. v.26, p.251–269, 1996.
- _____. **Pierre Duhem, Mixture and Chemical Combination, and Related Essays**, translated and edited, with an Introduction by Paul Needham, Kluwer, Dordrecht. 2002.
- _____. Aristotle's Theory of Chemical Reaction and Chemical Substances. in Davis Baird, Eric Scerri and Lee McIntyre, eds., **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline**, Boston Studies in the Philosophy of Science, Springer, p. 43-67, 2006.
- _____. **Duhem's Theory of Mixture in the Light of the Stoic Challenge to the Aristotelian**, 2002a.
- _____. The Discovery that Water is H₂O. **International Studies in the Philosophy of Science**, v.16, p.205–226, 2002b.
- _____. What is Water? **Analysis**, v.60, p.13–21, 2000.
- NICOLE, G.; HENNING, H.; PETER R. S. Heuristic thinking makes a chemist smart. **Chem. Soc. Rev**, v. 39, p.1503–1512, 2010.
- NORDMANN, A. From Metaphysics to Metachemistry. in: Davis Baird, Eric Scerri, Lee McIntyre (eds.). **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline**. Boston Studies in the Philosophy of Science, Dordrecht: Springer, p.347–362, 2006.
- PANETH, F.A. The Epistemological Status of the Chemical Concept of Element. **The British Journal for the Philosophy of Science**, v.13, n. 1–14, p.144–160. [primeira publicação em alemão em 1931]. 1962.
- POLANYI, M. **The Tacit Dimension**. First published Doubleday & Co, Reprinted Peter Smith, Gloucester, Mass, 1983. Chapter 1: "Tacit Knowing", 1966.
- PRIGOGINE, I. **O Fim das Certezas - Tempo, Caos e Leis da Natureza**, Editora UNESP, São Paulo, 1996.
- PRIMAS, H. **Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism. Perspectives in Theoretical Chemistry**. Berlin–Heidelberg–New York: Springer, 1981.
- ROTHBART, D. On the relationship between instrument and specimen in chemical research. **Foundations of chemistry**, v.1 n.3, p.255-268, 1999.
- SCERRI, E. Normative and Descriptive Philosophy of Science and the Role of Chemistry. In: Baird, D., Scerri, E.R., McIntyre, L. (eds.). **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline**, Boston Studies in the Philosophy of Science. v.242, p.119-128, 2006
- _____. Reduction and Emergence in Chemistry – Two Recent Approaches. **Proceedings of the Philosophy of Science Association**, 2007.
- _____. On the Nature of Chemistry. **Educación Química**, v.10, n.2, 74–78, 1999.

SCERRI, E. Philosophical confusion in chemical education research. **Journal of Chemical Education**, v.80, n.5, 468-474, 2004.

SCERRI, E. Has Chemistry Been at Least Approximately Reduced to Quantum Mechanics?, In: **PSA 1**, (East Lansing, MI: Philosophy of Science Association), p.160-170, 1994.

SCERRI, E, & McIntyre, L. Edictorial. **Syntheses**, 1997a.

_____. The case for the philosophy of chemistry. **Syntheses**, v.111, p.213-232, 1997b.

SCHUMMER, J. Towards a Philosophy of Chemistry. **Journal for General Philosophy of Science**, v.28, p.307-335, 1997.

_____. Scientometric Studies on Chemistry I: The Exponential Growth of Chemical Substances, 1800-1995. **Scientometrics**, v.39, p.107-123, 1997a.

_____. Scientometric Studies on Chemistry II: Aims and Methods of Producing New Chemical Substances. **Scientometrics**, v.39, p.125-140, 1997b.

_____. The Chemical Core of Chemistry I: A Conceptual Approach. **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.4, n.1, p.129-162, 1998.

_____. Coping with the Growth of Chemical Knowledge: Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists. **Educacion Química**, v.10, n.2, p.92-101, 1999.

_____. The Philosophy of Chemistry: From Infancy Towards Maturity. in: Davis Baird, Eric Scerri & Lee MacIntyre (eds.), **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline** (Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 242), Dordrecht: Springer, p. 19-39, 2006.

SEIBERT, C. Charley Peirce's head start in chemistry. **Foundations of chemistry**, v.3, n.3, p.201-206, 2001.

SJÖSTRÖM, J. Beyond Classical Chemistry: Subfields and Metafields of the Molecular Sciences. **Chemistry International**. v.28, September-October, p.9-15, 2006.

SOUKUP, R.W. Historical aspects of the chemical bond: Chemical relationality versus physical objectivity, **Monatshefte für Chemie**, v.136, p.803-813, 2005.

SPECTOR T. I. The Aesthetics of Molecular Representation: From the empirical to the Constitutive. **Foundations of Chemistry**, v.5, n.3, p.215-236, 2003.

TOMASI, J. Towards 'Chemical Congruence' of the Models in Theoretical Chemistry, **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.5, p.79-115, 1999.

TONTINI, A. Developmental Aspects of Contemporary Chemistry. Some Philosophical Reflections, **Hyle - International Journal for Philosophy of Chemistry**, v.5, n.1, p. 57-76, 1999.

STEIN, R. L. Towards a Process Philosophy of Chemistry. **Hyle - International Journal**

for **Philosophy of Chemistry**, v.10, n.1, p.5-22, 2004.

BALABAN, A. T. & KLEIN, D. J. Is chemistry ‘The Central Science’? How are different sciences related? Co-citations, reductionism, emergence, and posets, **Scientometrics**, v.69, n.3, p.615–637, 2006.

VAN BERKEL, B. **The structure of current school chemistry: A quest for conditions for escape**. Tese, Universidade de Utrecht, 2005.

VAN BRAKEL, J. On the Neglect of the Philosophy of Chemistry. **Foundations of Chemistry**, v.1, p.111–174, 1999.

_____. **Philosophy of Chemistry. Between the Manifest and the Scientific Image**. Leuven:Leuven University Press, 2000.

_____. Kant’s legacy for the philosophy of chemistry. In: Baird, D., et al. (eds.). **Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline**, p.69–91. Springer, The Netherlands, 2006a.

VIHALEMM, R. Philosophy of Chemistry and the Image of Science. **Foundations of Science**, v.12, n.3, 2007.

_____. The Autonomy of Chemistry: Old and New Problems. **Foundations of Chemistry**, v.13, n.2, p.97-107, 2011.

ZIMAN, J. **Real science – What is, and what it means**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

RUTHENBERG, K. Paneth, Kant, and the philosophy of chemistry. **Foundation of Chemistry**, v.11, p.79–91, 2009.

STOKES, D. E. **Pasteur’s Quadrant**. Brookings Institution Press, Washington, D.C., 1997.

VASCONI, P. Kant and Lavoisier’s Chemistry. In: Mosini, V. (ed.), **Philosophers in the Laboratory**. Rome: Euroma, p.155–162, 1996.

WOOLLEY, R. G. Must a Molecule Have a Shape? **Journal of the American Chemical Society**, v.100, p.1073–1078, 1978.

Marcos Antonio Pinto Ribeiro

Departamento de Química e exatas

Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

marcolimite@yahoo.com.br

Recebido em 16 de setembro de 2013

Aceito para publicação em 9 de Maio de 2016