

Reduccionismo e a Filosofia da Química

Professor Dr. Nelson Rui Ribas Bejarano

Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências –
Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Univ. Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Lotado no Departamento de Química Geral e Inorgânica – Instituto de Química – UFBA

1. Apresentação

Esse projeto refere-se a uma proposta de um estágio de pós-doutorado, no ano letivo de 2008, a ser desenvolvido no Depto. de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo, com a colaboração do prof. Osvaldo Pessoa Jr.

Vindo da área de Ensino de Química, pretendo, ao longo deste ano, travar contato e me aprofundar na área de Filosofia da Química, área esta que tem se consolidado, dentro da Filosofia da Ciência, no último quarto de século. Essa consolidação é evidente pela publicação de diversos livros na área, e pela existência de dois periódicos relevantes, a *HYLE - International Journal for Philosophy of Chemistry*, e a *Foundations of Chemistry*. Iniciamos nosso trabalho fazendo um exame bibliográfico de todos os artigos publicados nesses periódicos, e classificando-os de acordo com o tema apresentado. Um dos temas de maior destaque, e que escolhemos como foco principal de nosso estudo, é a questão do *reduccionismo* na Química, ou seja, de se o ‘programa de redução’ da Química à Física pode ser realizado de maneira completa, de se os fenômenos químicos podem ser sempre explicados pelos conceitos da Física, notadamente os da Mecânica Quântica.

Outras discussões que têm tido destaque nos artigos dessas revistas são:

a) O discurso da Química frente à sociedade e internamente junto à comunidade dos químicos e educadores químicos (ver, por exemplo, Sjöström, 2007; Schummer & Spector, 2007; Blondel-Mégrelis, 2007).

b) Questões ligadas à estética das estruturas químicas em suas representações pictóricas (ver, por exemplo, Hoffmann, 2003; Spector, 2003).

c) Uso de modelos e suas relações de ‘congruência’ com os objetos que representa (ver, por exemplo, Tomasi, 1999; Del Re, 2000; Hendry, 1999; Francoeur, 2000; Trindle, 1999).

d) Nanotecnologia e os desafios colocados por essa nova tecnologia (ver, por exemplo, Mody, 2004; Bensaude-Vincent, 2004).

Diante disso, a ‘questão da redução’ se apresenta como um aspecto central na discussão dentro da Filosofia da Química, sendo que outros aspectos observados preliminarmente nesses periódicos, estão ligados diretamente ou mesmo tangencialmente a essa questão do reducionismo. Então nossa opção de investigação nesse ano de estágio pós-doutoral será a de buscar analisar o programa reducionista sob vários aspectos na tentativa de oferecer alguma contribuição para esse debate que nos parece crucial para os destinos da Filosofia da Química.

Esperamos também que esse estudo possa nos ajudar a compreender melhor os fenômenos do ensino de química, especialmente aqueles ligados à formação do educador químico.

2. Filosofia da Química e Reduccionismo

Segundo o uso de uma interessante analogia, McIntyre (1999) mostra as relações históricas entre as três principais ciências da natureza: Biologia, Física e Química. Para esse autor o triunvirato dominante das ciências naturais tem na Física a figura de um ‘irmão mais velho’, na Biologia a de um ‘irmão caçula’ e na Química, o ‘filho do meio’. O irmão mais novo é rebelde e o irmão do meio é dominado pelo irmão mais velho. De maneira que a Biologia luta para manter sua independência ao passo que a Química tem uma longa tradição de seguir junto à Física.

Através de um julgamento severo os reducionistas argumentam que por ser a Química uma ciência exploratória e, portanto não ter um interesse filosófico próprio, isso a torna ontologicamente dependente da Física. Ao aceitar esse argumento que subordinaria a Química e a Biologia à Física, devemos verificar que a própria Física se apresenta dividida pelo menos até esse início do século XXI: sob o domínio de qual ramo da Física estaríamos nos referindo? Segundo ainda McIntyre (1999), a Física seria hoje dominada por três visões: Relatividade Especial, Mecânica Quântica e

Espaço/Tempo. Essa divisão da Física seria um argumento no qual os defensores do não reducionismo da Biologia também poderiam se apoiar. No entanto, a independência desse ‘filho mais jovem’ quer nos fazer crer que há algo de diferente na Biologia, que não se reduz aos átomos físicos.

Os argumentos de McIntyre, bem como o de outro filósofo da química de expressão, como Eric Scerri, são claramente no sentido de defender a autonomia da Filosofia da Química, dentro da Filosofia da Ciência. Algumas questões que precisam ser respondidas para que ocorra essa legitimação da Filosofia da Química são:

- a) Existem leis da química que são independentes?
- b) Ou pode ocorrer uma fascinante situação onde existam dois conjuntos de leis para explicar o mesmo fenômeno?
- c) A explicação genuinamente química dos fenômenos tem uma autonomia potencial?
- d) Se as questões a, b e c forem respondidas afirmativamente, então a Filosofia da Química é uma disciplina epistemologicamente independente.

3. A Ciência Química e sua relação com a Sociedade

Em nossa discussão sobre o não-reducionismo na química, devemos nos deter na questão sobre ‘quais são os objetos da química’, indo além da tese que aponta que a química é a ciência que manipula a matéria. Essa definição da ciência química é bastante limitada, sugerindo que a química seria antes de tudo uma tecnologia, já que a ênfase da definição está numa das atividades que a química de fato faz: criar a totalidade de novos objetos, especialmente a Química Industrial.

Num artigo bastante interessante voltado para a preocupação sobre o ‘discurso da química’, Sjöström (2007) aponta a química como muito mais do que simplesmente uma produtora de novos materiais. Para o autor o discurso da química tem vários níveis, o que revela sua complexidade e de certa forma a credencia como um ramo legítimo da ciência. Há um discurso num nível disciplinar que seria baseado no objetivismo, no racionalismo e no reducionismo molecular. Num nível mais geral o autor fala de um discurso da química num nível da sociedade, que nesse caso seria um discurso mais modernista que se apóia na idéia de que a ciência gera constante progresso e melhoria para a sociedade moderna. Segundo esse mesmo autor, a natureza e a cultura da química

encontram em seu ‘coração’ uma teoria química que discute a estrutura da matéria num nível molecular. Nye (1993) argumenta que diferentemente dos físicos, os químicos não estão apenas interessados nas propriedades gerais das moléculas, mas nas multifuncionalidades das características das moléculas químicas, características e comportamentos, bem como sua capacidade de gerar novos objetos. Nesse caso, a química seria Ciência e Tecnologia (C&T) mais ciência. Ou seja, além das aplicações da química (farmácia, engenharia, biotecnologia...) a química também é um laboratório central que é tecnológico. Muita química é sobre manipulação da matéria num nível molecular. Químicos tentam não somente entender e explicar, mas também mudar o mundo. A química não é só idéia, mas também novas substâncias que mudam nosso mundo material para o bem ou mal das pessoas. Nesse contexto que Sjöström aponta para a necessidade de uma interlocução mais próxima da química com a sociedade.

Como duvidar da força de uma ciência que para ser completamente entendida em toda sua vigorosa produção impõe a um leitor hipotético a necessidade de ler cerca de 2000 (duas mil) publicações científicas por dia? (Schummer, 1999). Ainda se referindo a esse discurso da química num nível disciplinar, Sjöström (2007) adverte para essa ‘forma cega de redução’, que tem levado um grande contingente de químicos, todos os dias, a se declararem atomistas ou ‘mecanicistas’. Seja na perspectiva da adoção da visão mecanicista na sua versão clássica, na sua versão quântica ou em sua versão estatística. De maneira que a mensagem que se pode extrair dessa adesão cega de exércitos de químicos, e que é passada à sociedade em geral, é a de que o mundo microscópico é em última instância o que há de mais importante. Há um reflexo direto para a educação científica numa mensagem dessa natureza.

No alto de sua autoridade como Nobel de química do ano de 1981, Roald Hoffmann, alerta para o lado danoso dessa idéia onde “as partes são mais importantes que o todo” (Hoffmann, 2007). Isso tem levado os estudantes a um tipo de ‘quimicofobia’. Hoffmann escreve:

Os cientistas adotaram o modo reducionista de pensar como ideologia dominante. Mas essa filosofia tem muito pouca relação com a realidade dentro da qual os próprios cientistas trabalham. E isso causa um perigo potencial ao discurso dos cientistas dirigido ao resto da sociedade (Hoffmann, 2007, p. 38).

Ao tentar levantar argumentos no sentido de um fortalecimento da Química como ciência autônoma, continuamos verificando mais alguns aspectos do

discurso da química para a sociedade. Se há de fato problemas nesse diálogo, há também muita euforia desmedida, o que Casper (2003) chamou de ‘quimicalização’ de nosso ambiente. Nota-se uma visão positiva compartilhada pelos químicos, em geral, que não comporta uma visão mais crítica, necessária nessas situações das relações entre as ciências e as sociedades. Pronunciamentos acríticos existem em profusão, de maneira que aproveitaremos o pouco espaço desse projeto para caminhar nessa direção, de ao mesmo tempo falarmos como químico simpatizante do não reducionismo, e também apontar problemas que existem nessa ciência. Esses problemas de certa forma podem colocá-la em risco, já que raramente, para dizer o mínimo, vemos os químicos discutindo em suas associações científicas, como na Sociedade Brasileira de Química (SBQ), por exemplo, quais os problemas que a atividade química tem trazido para a sociedade? No que tem contribuído, deixando de fora o otimismo exagerado? No que pode contribuir dentro de sua fronteira de conhecimento ou em ações interdisciplinares, num momento de crise que a sociedade passa alarmada por problemas como a do aquecimento global, com a eminente escassez de combustíveis fósseis? Com questões como a de várias formas de poluição?

Enfim, parece que nossas reflexões foram para um campo sociológico, mas o que está em jogo fundamentalmente nessa discussão é a imagem que temos na sociedade e que corremos o sério risco de perder nossa autonomia como ciência. Ora a vulnerabilidade trazida pelos adeptos do reducionismo encontrará campo fértil a partir de uma situação onde a química não consegue dizer para a sociedade quais são suas intenções, quais são seus objetivos.

O que de fato toda essa discussão ligada ao discurso da Química como disciplina, e da Química se comunicando com a sociedade, revela é que a Química como ciência e como ensino de química tem se pautado numa postura filosófica de orientação *positivista*. Neste projeto buscaremos esclarecer melhor no que consiste esta orientação, mas em poucas palavras ela procura fundar a teoria científica nos “dados positivos”, nas observações e nas técnicas experimentais, menosprezando o componente teórico da ciência. Não só os químicos da área ‘dura’, mas também boa parte dos próprios educadores, vêem a ciência dessa forma. De maneira que a Química padece, assim como acreditamos que ocorra em outras ciências, de reflexões mais agudas sobre sua própria produção bem como sobre sua identidade.

Pela beleza de suas palavras que soa um pouco como advertência, um pouco como uma regra a ser seguida, ou simplesmente como demarcação de uma fronteira a

qual quem faz ciência não pode nunca deixar de considerar, citaremos integralmente a conclusão do artigo de Sjöström (2007):

A diferença entre conhecimento técnico e um saber prudente é a diferença entre, de um lado, alguém domina as teorias, metodologias e técnicas requeridas para fazer ciência, e de outro lado, o verdadeiro profissional, que também entende essas coisas num contexto da História, Filosofia, Sociologia e Economia Política da Ciência – em resumo, a Ciência das Ciências (Sjöström, 2007, p.12).

4. A Ambigüidade da Redução

Esse subtítulo se refere a um título de um artigo de Eric R. Scerri de 2007. O autor, um crítico da redução, argumenta no sentido de que a redução da Química à Mecânica Quântica carrega ambigüidades e possui vários aspectos multifacetados do que geralmente se supõe. Dependendo da perspectiva adotada a Química pode aparecer como reduzida ou não reduzida. O autor também discute o que, do seu ponto de vista, considera como questões conceituais ambíguas na Mecânica Quântica.

Professor do departamento de Química e Bioquímica da Universidade da Califórnia, diz que costuma brincar quando alguém lhe pergunta sobre o tema de sua tese de doutoramento. Diz Scerri que foi sobre “se a Química é reduzida à Física”. Em seguida a pergunta óbvia do interlocutor curioso: “Bem e o que você concluiu? É a Química reduzida à Física?”. Aí aparece o senso de humor de Scerri: “Sim e Não”. Esse estranho diálogo deve ser seguido de uma boa risada. Embora de maneira séria, Scerri afirma que essa é a melhor resposta para a questão da redução. De sua mensagem se podem extrair duas possibilidades: 1) a Química seria parcialmente redutível à Física e 2) A Química seria reduzida e não reduzida ao mesmo tempo. De maneira que a interpretação 2 carrega então essa ambigüidade a que Scerri se refere.

Um físico importante que se preocupou com a questão da redução da química à física foi Paul Dirac, em 1929, ao explicar a ligação do hidrogênio na molécula de H_2 . O inaugurador da polêmica da redução ironicamente tem uma avaliação, por parte dos mecânicos quânticos atuais, como autor de uma visão em relação à redução que hoje seria insustentável.

Há uma constatação que mesmo os mais críticos da redução são obrigados a aceitar: é inegável o grande de crescimento do método quantitativo dentro das várias áreas da Química. O uso de programas de computador como ferramenta faz parte do dia

a dia dos químicos orgânicos experimentais, por exemplo, para fazerem simulações mesmo que não tenham o domínio completo do conhecimento da mecânica quântica ou da química teórica.

Quando falamos em um imaginário *ranking* de apoiadores ou de críticos à redução, devemos levar em conta alguns dados interessantes trazidos por Scerri. Em primeiro lugar a juventude da Filosofia da Química, que segundo ele nos informa remonta apenas do meio da década de 90 (1994). Com a organização dessa área, especialmente em termos de espaço para a divulgação das idéias, através de periódicos e congressos internacionais, tem surgido um grupo de filósofos químicos que ao mesmo tempo em que rejeitam o Positivismo Lógico, também levantam argumentos no sentido de combater total ou parcialmente a idéia de redução.

Parece-nos que essa atitude anti-reducionista seja um caminho natural da área de Filosofia da Química. Já os químicos pesquisadores, educadores químicos e químicos que trabalham nas indústrias nos parece que ou estão alienados desse debate, ou aderem ao reducionismo de forma acrítica e sem o conhecimento teórico da Química Quântica, embora essa última avaliação ainda careça de mais dados e comprovação. Scerri nos informa que os Filósofos da Química são críticos em relação à redução, mas que os historiadores da ciência seriam pró-reducionistas. Precisaremos verificar com quais argumentos os historiadores da ciência têm trabalhado para configurarem essa posição.

O argumento da ambigüidade é a tensão entre o fato de que o Reducionismo estaria tradicionalmente ligado ao Positivismo Lógico, mas que ao mesmo tempo esta filosofia tendia a não atribuir realidade para entidades não-observáveis, como átomos. Há que se considerar também técnicas iniciadas com Einstein e Perrin, no início do século XX, e que tiveram prosseguimento com outras técnicas, que permitiam que os átomos fossem “vistos”.

Hoje os reducionistas são plenamente crentes na Teoria Atômica e utilizam então os argumentos que eram negados pelos velhos reducionistas. Mais do que isso, são entusiastas do sucesso da Teoria Atômica, ou seja, da explicação do mundo macro a partir do componente micro.

Scerri nos apresenta três filósofos da Química que são radicalmente contra os argumentos da redução: Schummer, Psarros e van Brakel. Esses autores não discutem, de maneira curiosa em seus argumentos, os detalhes do tratamento da Mecânica Quântica em relação à ligação Química ou explicam o funcionamento da Tabela Periódica, entre outras coisas singulares também nos seus argumentos. Eles apontam

seu poder de fogo argumentativo na própria atividade dos químicos: “A Química é inegavelmente a Ciência das substâncias”, dizem eles apresentando uma linha bastante original de argumentos em relação às fragilidades da redução. Qualquer explicação vinda da redução ou da micro-redução, falha ao não conseguir descrever as substâncias de maneira que interessem aos químicos e aos filósofos.

Vamos reproduzir um trecho de um texto de van Brakel (2000), que Scerri considera como central nessa original linha de pensamento:

Com respeito à Química a questão que pode ser levantada: onde está havendo o ataque? Nas evidências ou na imagem científica? Muitos filósofos e químicos responderiam sem pestanejar: na imagem científica. O argumento desse texto é trazer, dúvidas para essa auto-evidência. Ele argumenta que primariamente a Química é a ciência da substância manifestas, embora a discussão “micro”, ou “sub-micro”, seja importante cientificamente, útil e que traz informações relevantes, nada muda o que é a matéria, ou seja, propriedades das substância manifestas. Essas substâncias manifestas, suas propriedades e usos não podem ser reduzidas para moléculas ou soluções da equação de Schrödinger. Se a equação de Schrödinger estiver errada isso não muda nada o conhecimento o nível micro do conhecimento químicos das moléculas. Se a Química molecular estiver errada isso não desqualifica o conhecimento de dizer que a o valor da viscosidade da H₂O num nível macro, nem a pré ou proto-científica nível manifesto (por exemplo, gelo é água congelada).

Sem dúvida a abordagem de van Brakel é surpreendente e nos faz pensar que de fato há vários caminhos ainda a serem explorados para que o debate sobre o reducionismo chegue a um termo aceitável.

5. Ambigüidades na Física Quântica

Já a forma encontrada por Scerri para discutir a redução é de outra natureza. Ele entra nos aspectos teóricos da Mecânica Quântica. Por exemplo, no seu trabalho ele fala que em relação ao sistema periódico, a redução da lei periódica, não é completa. Scerri não se coloca a priori como anti-reducionista, porém diz querer entender os argumentos do programa de redução. Mais adiante diz que a redução epistemológica da Química poderia até ser alcançada, mas de que isso não é o que aponta a discussão nesse momento.

Uma pequena pausa nessa nossa discussão com as idéias de Scerri, apenas para pontuar que os dois últimos autores que apresentamos têm abordagens completamente

distintas para enfrentar a discussão sobre o programa da redução. Van Brakel fala da própria Química, de dentro da Química, numa abordagem, como já dissemos, bastante original. Parece que para Brakel não haveria necessidade de falar de Mecânica Quântica. Esse poderia ser um caminho de nosso trabalho, ou seja, falar da Química, do que os químicos fazem, mostrar a singularidade de nosso trabalho e por contraste chegar a algumas constatações que poderiam apontar para uma presença da Física Quântica em algumas áreas da Química especialmente na Química teórica. Porque pela nossa experiência de convivência dentro de um Instituto de Química (onde trabalhamos) e de ter sido formado dentro de outro Instituto de Química de referência nacional e mundial, vemos claramente a física quântica presente entre os químicos teóricos e dentro da disciplina que se denominou Físico-Química, onde o próprio nome já denuncia que deseja fazer a ligação entre essas duas ciências. Já para Scerri o caminho é totalmente outro: ir aos meandros da própria Quântica e verificar possíveis fragilidades no próprio programa de redução. Dois caminhos possíveis e ainda nem começamos a nos aprofundar num nível desejável. Outros caminhos metodológicos poderão surgir.

Voltemos ao tema da ambigüidade do programa reducionista trazido por Scerri. Este autor vê ambigüidades tanto no programa de redução quanto na própria Mecânica Quântica. Assume que há uma relação muito próxima entre a Química e a Mecânica Quântica no contexto da redução entendido, segundo Scerri, em termos naturalísticos mais do que na tradicional visão envolvendo axiomas. Alguns filósofos aceitam que a redução epistemológica da Química é melhor considerada como uma relação entre propriedades químicas e as equações da mecânica quântica, mais do que uma relação de lógica formal entre teorias axiomatizadas da Química e mecânica quântica. Segundo Scerri o problema da visão tradicional está no fato de que as teorias químicas não se prestam a axiomatização.

Essa é uma discussão um tanto complexa. Nesse estágio de nosso estudo não temos condições de afirmar categoricamente que a “as teorias da Química não se prestam a axiomatização”. Essa seria uma outra discussão que teremos que levar ao cabo do estágio de posdoc.

Quanto à ambigüidade da Física Quântica, já é de largo conhecimento de qualquer aluno de graduação em Física ou em Química ao explicar o efeito foto-elétrico, Einstein falou que luz tinha partículas, bem como ondas na forma que conhecemos (do mar, por exemplo). Scerri afirma que essa é um tipo de ambigüidade dos quais os físicos quânticos não podem se livrar. Em seguida vem De Broglie sugere que os elétrons

podem agir como ondas. Daí para a intuição de que haveria uma dualidade onda-partícula em termos do comportamento do elétron foi um passo. Alguns experimentos a mais e de fato constata-se que o elétron de fato se comporta como luz. Esse desenvolvimento leva Schrödinger e outros a desenvolverem então a idéia da onda mecânica.

Por fim a questão da ambigüidade discutida por Scerri vai apontar que essa dualidade onda/partícula tem características mais de um paradoxo do que propriamente uma dualidade. Ora a partícula aparece como um objeto localizado, ora como ondas que sabemos que são extremamente “espalhadas” pelo espaço. Afinal pergunta Scerri: “como podem duas características tão distintas da realidade estar tão próximas”? E a dualidade onda/partícula permanece ambígua por 80 anos.

Para Scerri, o sucesso do programa de redução seria tributário do próprio desenvolvimento das ciências exatas, desde os primórdios com Galileo, Newton, Dalton, Maxwell, Boltzmann e outros muitos. O programa basicamente usa da análise matemática da natureza em termos do componente microscópico fundamental. Essa forma de produzir conhecimento está de certa forma dando certo porque explica os fenômenos que estão ocorrendo e faz previsões de eventos futuros. Mas está completa?

O sucesso do uso da redução se deve obviamente como já dissemos ao uso da análise matemática. Porém ainda dentro dessa perspectiva entram em cena os programas de computadores que, com sua capacidade não humana de calcular e de fazer aproximações, têm ajudado sobremaneira o programa reduutivo. E o dia a dia da Química continua com a convivência de conceitos tradicionais como: estruturas de Lewis, teoria do VSEPR, etc. Com o uso da mecânica quântica e dos supercomputadores, os químicos podem gerar uma montanha de dados, como valores quantitativos para ângulos de ligação, força de ligação ou momentos dipolo, embora esses cálculos não substituam o jargão usado pelos químicos no seu dia a dia.

Pudemos perceber nessa breve inclusão dentro dos debates ocorridos no âmbito do Programa da Redução, que em primeiro lugar é uma questão ainda aberta ao debate acadêmico. Há ambigüidades para nos apoiar numa expressão de Scerri, há adesão de químicos sem a devida reflexão e o necessário domínio dos conceitos da mecânica quântica, há filósofos da Química que rejeitam a redução, os que a aceitam parcialmente, enfim.

Esse trabalho buscará uma veia de análise, que esteja atenta aos argumentos dos reducionistas, mas que principalmente olhe a redução a partir de um olhar interno da

Química. Nem todos os artigos citados na bibliografia puderam ser explorados nesse pequeno projeto. A proposta, como já dissemos, é investigar os artigos desses dois periódicos, eventualmente alguns livros sobre o tema da redução como o de Hoffmann (2007), *O Mesmo e o Não-Mesmo*, como outras obras dessa temática.. Queremos verificar as fragilidades do programa de redução, queremos olhar o quanto esse programa já penetrou nas áreas da Química, mas, sobretudo gostaríamos de contribuir com o debate do que se convencionou chamar de Programa de Redução da Química à Física.

Referências Bibliográficas

- Bensaude-Vincent, Bernadette (2004), ‘Two Cultures of Nanotechnology?’, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 10, pp. 65-82.
- Blondel-Mégrelis, Marika (2007), “Liebig or How to Popularize Science”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 13, pp. 43-54.
- Casper, M.J. (org.) (2003), *Synthetic Planet – Chemical politics and the hazards of modern life*. New York: Routledge.
- Del Re, Giuseppe (2000), “Models and Analogies in Science”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 6, pp. 5-15.
- Francoeur, Eric. (2000), “Beyond Dematerialization and Inscription – Does the materiality of molecular models really matter?”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 6, pp. 63-84.
- Hendry, Robin F. (1999), “Molecular Models and the Question of Physicalism”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 5, pp. 143-60.
- Hoffmann, Roald (2003), “Thoughts on Aesthetics and Visualization in Chemistry”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 9, pp. 7-10.
- Hoffmann, Roald (2007), *O Mesmo e o Não-Mesmo*. São Paulo: UNESP. Original de 1995.
- McIntyre, L. (1999), “The Emergence of the Philosophy of Chemistry”, *Foundations of Chemistry* 1, pp. 57-63.
- Mody, Cyrus C.M. (2004), “Small, but Determined: Technological Determinism in Nanoscience”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* 10, pp. 99-128.

- Nye, Mary Jo (1993), *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry – Dynamics of Matter and Dynamics of Disciplines, 1800-1950*. Berkeley: University of California Press.
- Pessoa Jr., Osvaldo (2008), “A Representação Pictórica de Entidades Quânticas na Química”, *Química Nova na Escola, Caderno Temático 7*.
- Scerri, Eric R. (2007), “The Ambiguity of Reduction”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 13*, pp. 67-81.
- Schummer, Joachim (1999), “Coping with the Growth of Chemical Knowledge – Challenges for Chemistry Documentation, Education, and Working Chemists”, *Educación Química 10*, pp. 92-101.
- Schummer, Joachim & Spector, Tami I. (2007), “The Visual Image of Chemistry: Perspectives from the History of Art and Science”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 13*, pp. 3-41.
- Sjöström, Jesper (2007), “The Discourse of Chemistry (and Beyond)”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 13*, pp. 83-97.
- Spector, Tami I. (2003), “The Molecular Aesthetics of Disease – The Relationship of AIDS to the Scientific Imagination”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 9*, pp. 51-71.
- Tomasi, Jacopo (1999), “Towards ‘Chemical Congruence’ of the Models in Theoretical Chemistry”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 5*, pp. 79-115.
- Trindle, Carl (1999), “Entering Modeling Space”, *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry 5*, 127-42.
- van Brakel, Jaap (2000), *Philosophy of Chemistry – Between the Manifest and the Scientific Image*. Leuven: Leuven University Press.