

Algumas contribuições do episódio histórico da síntese artificial da ureia para o ensino de química

Paulo Henrique Vidal

Paulo Alves Porto

INTRODUÇÃO

Existem diversas opiniões que corroboram a concepção de que a história da ciência pode contribuir para o ensino. As justificativas são inúmeras. Para citar alguns exemplos, muitos pesquisadores defendem a ideia de que a história da ciência auxilia na compreensão da linguagem própria da atividade científica e contribui para o ensino de ciência a partir de uma perspectiva histórica, onde se pode abordar a ontogênese e a filogênese de cada conceito científico. Também pode mostrar que a ciência é um processo de constituição do saber erudito com dimensões sociais, econômicas, políticas e culturais de uma época específica¹.

A partir deste ponto podemos inferir que existem propostas, não recentes, que buscam relacionar a história da ciência e o ensino de um ponto de vista abrangente. Mesmo no Brasil, em muitos documentos oficiais se manifestou o interesse de utilizar conteúdos históricos da ciência para enriquecimento do ensino de química. Por exemplo, na Reforma Francisco Campos de 1931, já estava presente a sugestão dessa abordagem, embora sob um ponto de vista inteiramente positivista, como era de se esperar para esse período².

Entretanto, muito ainda necessita ser feito. Levantamento feito por Saito evidenciou que existem dois grandes grupos de propostas que têm como objetivo aproximar a história da ciência ao ensino. Algumas sugerem intervenção em sala de aula, e outras buscam fornecer subsídios

¹ A lista de contribuições é longa, mas pode-se ter uma visão geral em: L. C. Fernandez; M. Quintanilla & A. M. Blancafort, "La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación," *Ciência e educação* 16(2, 2010): 277-291.

² P. A. Porto, "História e filosofia da ciência no ensino de química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade," in *Ensino de química em foco*, org W. L. P. Santos & O. A. Maldaner (Ijuí: Editora Unijuí, 2010): 159- 80.

para educadores. Todavia, segundo esse pesquisador, a interface entre história da ciência e ensino ainda não está bem estabelecida devido ao fato de esta não ser uma tarefa trivial. Saito resume seu argumento demonstrando que, embora a interface entre história da ciência e ensino seja produtiva e admirada, ainda existem poucos artigos que discutam essa união, deixando os educadores sem opções a respeito de que forma utilizar a história da ciência em sala de aula³.

Procurando contribuir para o debate, este artigo tem como objetivo sugerir alguns pontos que poderiam ser desenvolvidos no contexto do ensino de química, por meio de um episódio histórico encontrado em grande parte dos livros didáticos de química destinados ao ensino médio: a síntese artificial da ureia.

UMA VISITA AOS RELATOS DA SÍNTESE ARTIFICIAL DA UREIA EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Considerando que os livros didáticos continuam sendo ferramentas muito utilizadas tanto por professores quanto por alunos, destacaremos aqui alguns relatos a respeito da síntese artificial da ureia incluídos em livros didáticos de química para o ensino médio. Em trabalho recente, realizamos uma comparação entre os relatos encontrados nos livros didáticos e trabalhos produzidos por historiadores da ciência a respeito do tema, evidenciando a existência de muitas discrepâncias⁴. Discutiremos algumas delas a seguir.

Nossa amostra se constituiu em seis livros didáticos de química recomendados no Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM 2007). São transcritos a seguir três trechos representativos dos livros didáticos investigados:

³ F. Saito, "História da ciência e ensino: em busca de diálogo entre historiadores e educadores," *História da ciência e ensino: construindo interfaces*, 1 (2010): 1-6.

⁴ P. H. O. Vidal & P. A. Porto, "Uma visita aos relatos da síntese artificial da ureia em livros didáticos de química para o ensino médio," in *1ª Conferência Latino Americana do International History, Philosophy, and Science Teaching Group (IHPST-LA) Caderno de Resumos*, Universidade de São Paulo e Universidade Estadual de Campinas (São Sebastião: 2010), 110.

Friedrich Wöhler: químico alemão, nasceu em 1800 e faleceu em 1882. Estudou com Berzelius, do qual se tornou grande amigo. A síntese da uréia, a partir do cianato de amônio, immortalizou Wöhler e foi o ponto de partida para a derrubada da teoria da força vital, defendida por seu amigo Berzelius.⁵

Em 1828, o químico alemão Friedrich Wöhler tentava sintetizar uma substância inorgânica, o cianato de amônio, a partir de duas outras substâncias inorgânicas: o cianato de potássio e o sulfato de amônio. Para isso, aqueceu os dois sais juntos, esperando encontrar o cianato de amônio. Observou, no entanto, a formação de cristais brancos cuja análise revelou ser uréia, substância presente na urina dos mamíferos. Acidentalmente, Wöhler sintetizou uma substância orgânica a partir de substâncias inorgânicas, sem usar nenhuma "força vital". Esse feito rompeu a barreira estabelecida entre o mundo animado e o inanimado. Os cientistas ficaram, então, mais inclinados a acreditar que as leis da química orgânica eram semelhantes, ou mesmo idênticas, às da química inorgânica. Com isso, os químicos passaram a analisar as substâncias orgânicas e a fazer uso da teoria atômica para atribuir-lhes fórmulas, com procedimentos semelhantes aos utilizados para os compostos inorgânicos.⁶

As primeiras preocupações da química orgânica nascente eram os materiais de origem animal e vegetal, tais como urina, sangue, gorduras, cabelos, açúcares, resinas, ceras etc. A aparente complexidade desses materiais levou químicos como Berzelius a acreditar que os organismos vivos eram capazes de sintetizá-los devido a uma força misteriosa neles existente. Era chamada Teoria da Força Vital. Em 1828, essa teoria foi violentamente abalada quando um químico alemão, Friedrich Wöhler, aquecendo cianato de amônio, provocou uma reação química, na qual esse composto inorgânico se transformou em uréia. A uréia (substância presente na urina dos mamíferos) segundo as idéias da época, só seria produzida em organismos vivos, possuidores da força vital. Nos anos que se seguiram, com o desenvolvimento do conceito da

⁵ R. Feltre, *Química orgânica*, v.3 (São Paulo: Moderna, 2000), 4.

⁶ O. S. Nóbrega; E. R. Silva; R. H. Silva, *Química* (São Paulo: Ática, 2005), 206.

conservação de energia, parecia não haver mais lugar para a “força vital”.⁷

Embora tenhamos transcrito aqui fragmentos de apenas três livros, para não deixar este trabalho tão extenso, os demais livros analisados seguem panorama semelhante. De maneira geral, podemos verificar alguns consensos entre os autores dos livros didáticos em seus relatos históricos.

Primeiro, existe unanimidade na afirmação de que a síntese da uréia, realizada por Friedrich Wöhler (1800-1882) em 1828, contribuiu para o descrédito em relação à “teoria da força vital” (ou vitalismo, como preferem alguns estudiosos), defendida por cientistas da época. O segundo consenso diz respeito a considerar como não problemática, na época de Wöhler, a classificação do cianato de amônio como uma substância inorgânica. O terceiro consenso, implícito como o segundo, é considerar, também de maneira não problemática, a questão da distinção entre compostos químicos orgânicos e inorgânicos.

Esses relatos diferem dos produzidos por historiadores da ciência. Segundo o historiador da ciência T. O. Lipman⁸, o vitalismo não era uma doutrina monolítica, pois existiam diversas concepções a respeito da força vital. Apenas para citar algumas concepções, uma delas sugeria que os seres vivos poderiam produzir compostos orgânicos, devido a seu alto grau de instabilidade e da complexidade de sua composição. Outra considerava que as transformações orgânicas eram governadas por forças diferentes das que governavam as transformações inorgânicas. Uma terceira sugeria que a afinidade química era responsável pelas transformações inorgânicas e a força vital era responsável pelas transformações orgânicas. Como último exemplo, podemos citar a hipótese da existência de um “princípio dirigente” nos seres vivos, que

⁷ F. M. Peruzzo; E. L. Canto. *Química orgânica*, v.3 (São Paulo: Moderna, 2003), 6.

⁸ T. O. Lipman, “Wöhler’s preparation of urea and the fate of vitalism,” *Journal of Chemical Education* 41 (8, 1964): 452-458.

seria capaz de interagir com os elementos químicos na formação de compostos orgânicos.

Considerando a variedade e abrangência dessa doutrina, um único experimento não seria suficiente para levar a seu abandono – mesmo porque, muitos de seus desdobramentos não tinham qualquer relação com a síntese feita por Wöhler. O próprio Jöns Jacob Berzelius, por exemplo, escreveu na primeira seção do seu *Lehrbuch der Chemie*, já em 1847, que na natureza viva os elementos parecem obedecer a leis diferentes dos materiais inorgânicos – evidenciando que nem mesmo entre os químicos a síntese da uréia abalou, ou muito menos derrubou, o vitalismo. De fato, até por volta do início da Segunda Guerra Mundial o debate a respeito da matéria viva ainda era fervoroso⁹.

As historiadoras da ciência B. Bensaude-Vincent e I. Stengers¹⁰ declaram, em livro de divulgação, que muitos pesquisadores da época consideravam relevante que o cianato de amônio não era preparado a partir de substâncias elementares, mas por oxidação de um cianeto proveniente de cascos e chifres de animais; logo, a origem inorgânica do reagente poderia ser posta em questão.

O pesquisador J. H. Brooke¹¹ sugeriu que o próprio conceito de composto orgânico era problemático, não existindo uma linha bem definida para separar todos os compostos químicos em dois grupos distintos. Vejamos algumas controvérsias da época, destacadas por Brooke. Eilhard Mitscherlich (1794-1863) considerou, em seu *Elemens de chimie* de 1835, que amônia e gás carbônico eram compostos de natureza orgânica. Jean Baptiste Dumas defendeu a tese, em seu *Traité de chimie appliquée aux arts* de 1828, que naftaleno e gás carbônico eram compostos inorgânicos. Já para Berzelius, em *Essai sur la théorie des proportions chimiques* de 1819, todos os compostos orgânicos deveriam possuir oxigênio em sua estrutura; logo, o gás carbônico poderia ser

⁹ S. W. Priven, "Idéias sobre matéria e vida, ou as várias "mortes" do vitalismo", in *Atas Cesima Ano X*, org A. M. Alfonso-Goldfarb; L. Zaterka; M. H. M. Ferraz (São Paulo: PUC/SP, 2006).

¹⁰ B. Bensaude-Vincent & I. Stengers, *História da Química* (Lisboa: Instituto Piaget, 1992).

¹¹ J. Brooke, "Wöhler's urea, and its vital force? A verdict from the chemists," *Ambix* 15(1968): 84-114.

orgânico. Resumindo, não havia um consenso, e as classificações podiam variar de um pesquisador para outro.

Embora os artigos elaborados por Lipman e Brooke tenham mais de quarenta anos, ainda é possível encontrar relatos equivocados sobre o episódio histórico da síntese artificial da ureia em livros didáticos não apenas brasileiros, mas também de outros países¹². Infere-se, como sugeriu P. J. Ramberg¹³, que o experimento de Wöhler foi transformado em um “mito de criação” da química orgânica no século XIX, e os livros didáticos vêm repetindo acriticamente essa visão. Pelo menos até o momento, observa-se que algumas abordagens dos livros didáticos não consideram o conhecimento produzido por historiadores da ciência, o que sugere a necessidade de maior aproximação entre os autores de livros e fontes atualizadas em história da ciência.

A SÍNTESE DA URÉIA: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

Considerando os problemas detectados nos livros didáticos, sugerimos a seguir alguns pontos deste episódio que poderiam ser utilizados no ensino, particularmente para a formação de professores. Não se trata de fornecer uma unidade didática pronta e acabada, mas apontar recursos para a reflexão a respeito do complexo processo de construção do conhecimento.

Primeiro, o episódio deve ser desenvolvido como um estudo de caso de modo a demonstrar que um experimento não pode “derrubar” uma teoria ou doutrina tão abrangente, como era o caso da “força vital”. Afinal, “as alterações na ciência são lentas, graduais, difusas, são um

¹² P. S. Cohen & S. M. Cohen, “Wöhler’s synthesis of urea: how do the textbooks report it,” *Journal of Chemical Education* 73 (9, 1996): 883-886. Após a análise de 35 livros didáticos destinados ao ensino superior, os pesquisadores observaram que uma considerável parcela dos livros descreve que a síntese da uréia foi aceita pelos contemporâneos de Wöhler como uma prova que o vitalismo estava errado, e alguns descrevem que a força vital deixou de existir em 1850. Na maioria dos livros, os autores e autoras descrevem que Wöhler partiu do cianato de amônio (uma substância inorgânica) para a obtenção da ureia, apesar de um dos livros conter a descrição de que o químico alemão não utilizou esse reagente inicialmente. A maioria dos livros sugere também que havia uma crença generalizada entre os pesquisadores do século 19 na existência de uma separação entre substâncias orgânicas (que não poderiam ser produzidas em laboratório) e inorgânicas.

¹³ P. J. Ramberg, “The death of vitalism and the birth of organic chemistry: Wöhler’s urea synthesis and the disciplinary identity of organic chemistry,” *Ambix* 47 (3, 2000): 170-195.

trabalho coletivo e não individual e instantâneo, dos grandes gênios”.¹⁴ Para isso, pode-se recorrer a relatos extraídos de fontes primárias que, de alguma maneira, discordavam que a síntese da uréia significasse a síntese artificial de um composto orgânico. Tal posição era compartilhada não apenas por muitos químicos, mas – considerando a importância do vitalismo para a fisiologia – também por estudiosos das ciências da vida. Nesse contexto, é relevante citar um trabalho de grande circulação em meados do século XIX, o *Handbuch der Physiologie des Menschen für Vorlesungen*, de 1834 (utilizamos a tradução inglesa, *Elements of Physiology*, de 1843), escrito por Johannes Peter Müller (1801-1858), fisiologista e professor da Universidade de Berlim, contemporâneo de Wöhler. Vejamos alguns comentários de Müller, sustentando a ideia de que a ureia não poderia ser um composto orgânico.

Segundo Müller, somente os organismos vivos poderiam produzir substâncias orgânicas, devido a um princípio existente nos seres animados:

a matéria se torna vivificada na medida em que experimenta a força vivificante; ela adquire o poder de transmitir vida para outras porções de matéria na proporção em que ela própria é vivificada; e a matéria exerce este poder enquanto atuam sobre ela certos *estímulos vitais* que, enquanto se unem com os tecidos organizados, causam a separação e excreção de outras substâncias¹⁵.

Para Müller, as substâncias que não tinham mais utilidade para o sistema orgânico deveriam ser descartadas através das fezes e da urina:

Na conversão do alimento em matérias apropriadas para a nutrição do corpo, algumas substâncias, por conterem um excesso de elementos sem utilidade, devem ser necessariamente

¹⁴ R. A. Martins, “Introdução: a história das ciências e seus usos na educação,” in *Estudos de história e filosofia das ciências*, org. C. C. Silva (São Paulo: Livraria da Física, 2006): xxv.

¹⁵ J. P. Müller, *Elements of Physiology*, trad. W.M. Baly (Philadelphia: Lea and Blanchard, 1843): 41-42.

descartadas. [...] Nos animais, as únicas matérias excrementícias relevantes, que são inúteis ao sistema orgânico, são o ácido carbônico e a urina. As excreções dos animais, na verdade, quase igualam em quantidade a matéria ingerida pelo corpo; mas somente parte delas são *excreta* inteiramente inúteis...¹⁶.

Müller afirma que a composição da urina pode variar, mas aponta entre seus componentes essenciais a ureia. Segundo ele, ureia foi encontrada no sangue de cães cuja secreção de urina fora impedida cirurgicamente, mesmo tendo sido o animal alimentado somente com substâncias isentas de nitrogênio. Assim, a ureia seria um produto da decomposição de componentes “organizados” que se tornaram inúteis. Outras substâncias produzidas nessas condições seriam o ácido carbônico¹⁷ e o ácido lítico¹⁸, as quais também seriam incapazes de nutrir outros animais. Müller se referiu ao ácido carbônico como um “composto binário”, o que seria uma característica dos compostos minerais ou inorgânicos. Em seguida, acrescentou: “a ureia é muito análoga a um composto binário, e talvez seja realmente um deles; de qualquer forma, Wöhler mostrou que ela é produzida a partir de cianato de amônia com extrema facilidade”¹⁹. Embora sem maiores discussões, a passagem sugere a natureza inorgânica da ureia. Na concepção de Müller, substâncias como o ácido carbônico e a ureia resultariam da decomposição de tecidos vivos, como parte do processo vital; e a eliminação delas tornaria necessária o suprimento de nova matéria nutriente – a qual ficaria então sujeita à “força organizadora” característica dos seres vivos. Observa-se, portanto, que a síntese artificial da ureia, realizada por Wöhler, podia ser perfeitamente assimilada dentro do panorama de uma teoria de “força vital” como a de Müller. Este exemplo, inserido no contexto didático, evidencia como uma

¹⁶ Müller, *Elements of Physiology*, 42.

¹⁷ Corresponde ao gás carbônico, ou dióxido de carbono.

¹⁸ Antigo nome para a substância hoje chamada de ácido úrico.

¹⁹ Müller, 43.

teoria complexa e abrangente não pode ser “derrubada” por um único experimento.

Além disso, o estudo do episódio pode fornecer um exemplo histórico de isomeria. Wöhler estava muito preocupado em descrever, em seu artigo de 1828, uma substância que acreditava ter sintetizado e que possuía propriedades idênticas a da uréia. Vejamos um trecho:

Após ter sido purificado por diversas recristalizações, [os produtos obtidos] mostraram um forte caráter ácido, e eu já estava inclinado a considerar o composto como um ácido peculiar, quando percebi que, depois da neutralização com bases, resultavam sais de ácido nítrico [...]. Esta similaridade com o comportamento da ureia me induziu a conduzir experimentos comparativos com ureia completamente pura, isolada a partir da urina – a partir dos quais ficou evidente que a ureia e esta substância cristalina, ou cianato de amônia, se assim pode ser chamada, são compostos completamente idênticos²⁰.

Ao longo de quase todo o artigo, Wöhler chamou a atenção para o isomerismo (fenômeno pelo qual duas ou mais substâncias apresentam a mesma composição elementar, mas propriedades diferentes), assunto que despertava muita atenção dos pesquisadores químicos do século XIX. Os atuais livros didáticos de química do ensino médio, em geral, abordam isomeria plana, geométrica e óptica sem nenhuma problematização histórica. O evento da síntese artificial da ureia poderia fornecer um exemplo prático da problemática relacionada ao isomerismo, que alimentava o interesse dos pesquisadores e poderia mostrar de que modo este conceito surgiu e foi sendo elaborado. Por outro lado, em relação ao vitalismo, Wöhler não especulou a respeito da influência de seu estudo sobre a crença na força vital. Ao contrário, Wöhler terminou seu artigo

²⁰ F. Wöhler, “On the artificial production of urea,” in *A Source Book in Chemistry 1400 – 1900*, org. H. M. Leicester & H. M. Klickstein (Cambridge (EUA): Harvard University Press, 1952), 310.

argumentando que “a dedução de uma lei geral aguarda mais experimentos acerca de diversos casos similares”.²¹

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditamos que este estudo de caso seja particularmente propício para ressaltar o papel da história da ciência no ensino, no que diz respeito a sua capacidade de despertar a reflexão. Segundo J. Maienschein e G. Smith²², a produção acadêmica sobre a história da ciência nunca foi tão grande; todavia, os leitores que não tenham formação específica na área não sabem muito bem diferenciar uma história bem fundamentada, em termos historiográficos, de uma outra, que siga abordagens hoje consideradas inadequadas pelos historiadores da ciência. Por esse motivo, consideramos muito relevante realizar trabalhos que tenham como objetivo refletir sobre os conteúdos históricos relacionados ao ensino, especialmente envolvendo a colaboração direta entre historiadores da ciência e educadores.

A análise crítica dos relatos dos livros didáticos, e de determinadas fontes secundárias produzidas ainda hoje, revela que muitos conteúdos e abordagens inadequadas seguem sendo repetidas. A discussão desses pontos deve levar o professor a se conscientizar de que ele não deve ser “adotado” pelo livro, no sentido de segui-lo fielmente, mas deve estar capacitado a decidir quando e como discordar do material didático que tem a sua disposição. Em muitos casos, a abordagem adotada pelos livros didáticos para os episódios históricos reforça concepções inadequadas de ciência. Por exemplo, no caso aqui focado, os alunos podem desenvolver a concepção de que um único experimento é suficiente para descartar uma ideia compartilhada por uma expressiva comunidade de cientistas. Por isso, acreditamos que a introdução de aspectos da história da ciência, quando solidamente fundamentados em concepções historiográficas atualizadas, pode enriquecer em muito o processo de

²¹ Wöhler, “On the artificial production of urea”, 312.

²² J. Maienschein & G. Smith, “What difference does history of science make, anyway?,” *Isis* 99(2008): 318-321.

ensino-aprendizagem, principalmente no que tange a reflexões sobre o funcionamento da ciência. O professor de ciências, adequadamente capacitado, pode tornar o ensino mais significativo para seus alunos, pois a história da ciência será de grande valia para “polemizar certos tópicos considerados ‘tabus’ científicos.”²³

SOBRE OS AUTORES:**Paulo Henrique Oliveira Vidal**

Professor de Química na Rede Estadual de Ensino de São Paulo. Mestre em Ensino de Ciências pela Universidade de São Paulo.

(phoidal@iq.usp.br)

Paulo Alves Porto

Professor Doutor do Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo.

(palporto@iq.usp.br)

²³ A. M. Alfonso-Goldfarb, “História e filosofia da ciência e a volta a uma visão globalizante e motivadora no ensino,” *Revista Brasileira de História da Ciência*, 3(1989): 79.