

O tetraedro de Van' t Hoff: algumas considerações sobre o papel dos modelos na história da química e no ensino.

The Van 't Hoff's tetrahedron: some remarks concerning the role of models in the history of chemistry and in chemical education.

Maria Helena Roxo Beltran

PEPG em História da Ciência/ CESIMA/ PUCSP

lbeltran@pucsp.br

Resumo

Com o objetivo de contribuir com a construção de interfaces conceituais entre história da ciência e ensino, este trabalho teórico focaliza um tópico de conteúdo químico abordado no ensino médio e que envolve a discussão do emprego de modelos em química e no ensino de química. Trata-se da concepção da estrutura tetraédrica do átomo de carbono. De início, apresenta-se um estudo histórico sobre as origens da proposta do carbono tetraédrico por Van't Hoff na segunda metade do século XIX, os debates sobre essa proposta e suas conseqüências. Em seguida, abordam-se algumas discussões atuais sobre o ensino desse tópico e, por fim, considera-se sobre possibilidades de aplicação da história da ciência ao ensino desse modelo fundamental da química orgânica.

Palavras chave: história da ciência, história da ciência e ensino, tetraedro de Van't Hoff, modelos na história da química, modelos no ensino de química.

Abstract

In order to contribute to building conceptual interfaces between history of science and education, this paper focuses on the origins of Van't Hoff's ideas concerning the tetrahedral structure of carbon atom. It is a topic of chemical content covered in high school, which involves discussion on the use of models in chemistry and in chemical education. This paper presents a historical study, expounds on some current debates about teaching this topic and, finally, just infers some possible applications of the history of science to the teaching of this fundamental model of organic chemistry.

Key words: history of science, history of science and education, Van't Hoff's tetrahedron, models in the history of chemistry, models in chemistry teaching.

O tetraedro de Van' t Hoff: algumas considerações sobre o papel dos modelos na história da química e no ensino.

Introdução

A elaboração de conhecimentos sobre a matéria e suas transformações caracteriza-se pela forte relação entre os processos de manipulação dos materiais e as idéias acerca de sua composição. Isso é claramente expresso nas palavras do pesquisador em físico-química e professor emérito, Aécio P. Chagas, em seu muito conhecido livro *Como se faz química*, no seguinte trecho(1989: 14-5):

A atividade do químico é caracterizada por dois aspectos complementares: o primeiro aspecto é sua atividade prática, a sua atividade própria e especial de manusear a matéria (...) encarando-a de uma forma macroscópica. O segundo aspecto é sua atividade teórica, o seu pensar sobre os fatos observáveis em termos de esquemas e modelos, sendo que na maioria das vezes encara a matéria sob o ponto de vista microscópico, sob o nome genérico de *teoria molecular*. O químico age e pensa dessas duas maneiras e a Química é a resultante desses dois modos de agir e pensar, da interação desses dois complementares.

Assim, no ensino de química seria desejável abordar esses dois aspectos de maneira relacionada, a fim de possibilitar aos estudantes uma introdução a formas de construção dos conhecimentos sobre a matéria. De fato, essa foi uma preocupação constante entre os pesquisadores e professores que elaboraram os projetos inovadores de ensino de química florescentes na década de 1980 (ZANON & MALDANER, 2007: 9-10).

Entretanto, as dificuldades de compreensão e aplicação de modelos por parte dos estudantes tem sido um tópico muito discutido entre professores, educadores e pesquisadores na área de educação química, sendo que constitui atualmente uma área de pesquisa promissora na fundamentação de propostas de mudanças no ensino (FERREIRA & JUSTI, 2008). De fato, a noção de modelos enquanto construções mentais para explicação de fenômenos observáveis não se apresenta na maioria dos textos didáticos e muitas vezes não são claras mesmo entre professores (JUSTI & GILBERT, 1999 e 2002; OKI & MORADILLO, 2008: 80-4; MELZER *et alii*, 2009; GIBIN & FERREIRA, 2010;).

Recursos didáticos de diferentes naturezas, os quais incluem desde bolinhas e canudos até softwares, passando por criativos cineminhas e animações, vêm sendo propostos para auxiliar na compreensão de modelos propostos para explicar a estrutura da matéria por meio da visualização de representações de átomos, moléculas e ligações químicas, bem como de processos de transformação (LIMA & DE LIMA-NETO P., 1999; GIORDAN *et alii*, 2004; RIBEIRO & GRECA, 2003; BELTRAN, 1997).

Na maior parte dos cursos e dos livros didáticos de química, a questão dos modelos é

ênfatisada de modo especial, ao se tratar dos modelos atômicos. Além disso, esse é um dos tópicos em que o recurso à história da ciência é defendido e supostamente empregado. De fato, pode-se considerar que nesse tópico o valor do uso da história da ciência no ensino é unanimidade entre professores, educadores e historiadores da química. Entretanto, nos livros didáticos, tal abordagem histórica geralmente se reduz a uma apresentação de idéias de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e, muitas vezes, do modelo de orbitais, em sequência, como se tais concepções tivessem sido aceitas sem debates entre os cientistas dos séculos XIX e XX. Isso, sem falar de uma crença recorrente de que os modelos atômicos atuais teriam ligação direta com as idéias de Leucipo e Demócrito elaboradas no contexto do dilema eleático debatido na Grécia Antiga.

Além disso, estudos recentes tem mostrado que os modelos descritos nos livros didáticos não correspondem àqueles expressos nos textos originais dos estudiosos considerados. Assim, por exemplo, o papel do imponderável calórico nas idéias de Dalton sobre os átomos, sequer chega a ser aventado nas aulas de química (LOBATO, 2011) e a tão difundida analogia do átomo de Thomson ao pudim de ameixas vem se revelando totalmente equivocada (LOPES & MARQUES, 2011).

Isso mostra a necessidade de aproximação mais eficaz entre historiadores da ciência e pesquisadores, educadores e professores. Uma aproximação que leve efetivamente à construção de interfaces conceituais entre essas duas áreas que em si já são de natureza interdisciplinar (BELTRAN, 2013; SAITO, 2010; SAITO *et alii*, 2010; ALFONSO-GOLDFARB, 2003).

No sentido de contribuir com a construção dessas interfaces, este trabalho teórico focaliza um outro tópico de conteúdo químico abordado no ensino médio e que também deve envolver a discussão do emprego de modelos em química e no ensino de química. Trata-se da concepção da estrutura tetraédrica do átomo de carbono. De início, apresenta-se um estudo histórico sobre as origens da proposta do carbono tetraédrico na segunda metade do século XIX, os debates sobre essa proposta e suas conseqüências. Em seguida, abordam-se algumas discussões atuais sobre o ensino desse tópico e, por fim, procura-se apenas inferir algumas possibilidades de aplicação da história da ciência ao ensino desse modelo fundamental da química orgânica. Entretanto, deve-se ressaltar que propostas de aplicação em sala de aula serão alvo de trabalhos futuros.

O carbono tetraédrico: modelos mentais, modelos didáticos e argumentação.

O nome de Jacobus Henricus van 't Hoff (1852-1911) é bastante reconhecido por suas contribuições no campo da físico-química, pelas quais conquistou o prêmio Nobel de 1901. Entretanto, poucas vezes se considerada seu importante papel na proposta do modelo do carbono tetraédrico. Com grande ousadia para um jovem de 22 anos, Van' t Hoff publicou, em 1874, um panfleto de não mais de onze páginas, trazendo essas suas idéias, que viriam a causar muitos debates no meio científico da época. O panfleto, escrito em vernáculo holandês intitulava-se "Uma proposta para estender no espaço as fórmulas estruturais correntemente empregadas em química, juntamente com um comentário concernente acerca da relação entre a atividade do poder óptico e a constituição química dos compostos orgânicos" (VAN' T HOFF, 1874; RAMBERG & SOMSEN, 2001).

É fato que no mesmo ano, o estudioso francês Joseph Achille Le Bel (1847-1930) publicaria no *Bulletin de la Société Chimique de Paris* uma memória denominada "Sobre as relações que existem entre as fórmulas atômicas dos corpos orgânicos e o poder

rotatório de suas dissoluções”, no qual também proporia a idéia da estrutura tetraédrica do carbono (LE BEL, 1874). Van’ t Hoff reconheceu a contribuição de Le Bel e chegaria a dedicar-lhe uma obra posterior, comemorativa dos dez anos dessa teoria, na qual reproduziu essa memória do químico francês (VAN’T HOFF, 1887). Em 1893 os dois estudiosos dividiram a Medalha Davy concedida pela Royal Society, por essa contribuição de ambos ao estudo da estereoquímica, o que mostra o reconhecimento da simultaneidade desses feitos pela comunidade científica da época (VAN DER SPEK, 2006: 158).

Já pelos títulos dos trabalhos pode-se observar a propostas dos dois estudiosos de explicar a atividade óptica de certos compostos de carbono em termos de estruturas atômicas. Anteriormente, os estudos de Louis Pasteur (1822-1895) sobre assimetria dos cristais de substâncias opticamente ativas o levariam, em trabalho publicado já em 1860, a considerar a estrutura das moléculas (GROSSMAN, 1989: 30). Mas suas considerações seriam posteriormente desenvolvidas por Le Bel, fundamentado, assim como Van’ t Hoff, na teoria de August Kekulé (1829-1896) sobre a tetravalência do carbono, bem como nos modelos (tipo bola e palito) que esse químico germânico utilizava em suas exposições e que foram usados publicamente pela primeira vez por August Hofmann (1818-1892) numa palestra que ministrou na *Royal Institution* de Londres em 1865 (VAN DER SPEK, 2006: 159).

As idéias de Kekulé sobre a estrutura dos compostos de carbono assumiam a existência de átomos, os quais se ligariam em cadeias e teriam valências fixas formando números determinados de ligações. Para representar tais cadeias Kekulé utilizava diagramas como os apresentados na Figura 1, que ficaram conhecidos como “fórmulas salsicha” (CAMEL *et alii*, 2009; ARAUJO NETO, 2007)

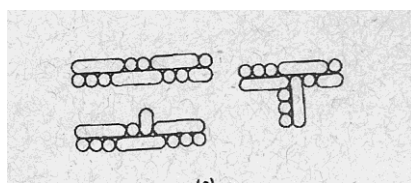


Figura 1: Fórmulas de Kekulé para os “três” isômeros do álcool propílico (RIDDELL & ROBINSON, 1974: 2003)

Entretanto, Kekulé admitia a espacialidade das moléculas, afirmando que “... devemos assumir que todos os átomos de uma molécula poliatômica estão arranjados no espaço de modo que todas as forças atrativas [valências] sejam satisfeitas.”. Kekulé também admitia a estrutura tetraédrica do carbono e, como recurso didático, passou a utilizar em suas aulas e exposições modelos do tipo bola e palito. (RIDDELL & ROBINSON, 1974: 2003, inclusive citação)

Van’ t Hoff trabalhou no laboratório de Kekulé em Bonn entre o outono de 1872 e a primavera de 1873 e certamente teve contato com as idéias e com os modelos didáticos de seu mestre, vindo a desenvolvê-las posteriormente (RAMBERG & SOMSEN, 2001: 55). Van’t Hoff, portanto, baseava-se na idéia da existência de átomos e moléculas, que àquela época não era unanimidade entre os químicos.

Talvez por isso Van’t Hoff tenha se empenhado tanto na divulgação de suas idéias. Assim, já no mesmo ano de 1874, teve seu panfleto holandês traduzido para o francês e, com apoio do cientista Christophorus Buys-Ballot (1817-1890), o texto foi publicado nos *Archives Neerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles*, um periódico voltado a

divulgar estudos científicos holandeses numa língua mais acessível ao público europeu (RAMBERG & SOMSEN, 2001: 62). A seguir, em 1876, foi publicada uma tradução alemã por F. Herrmann, com uma elogiosa apresentação preparada por Johannes Wislicenus (1835-1902). Esse livro, bem como o apoio de Wislicenus, foram severamente criticados por Hermann Kolbe (1818-1884), com comentários tais como:

“... o livro dos Srs. Van't Hoff e Herrmann sobre *O Arranjo dos Átomos no Espaço*, que apareceu recentemente [...] transborda de fantasias. Eu ignoraria esse livro, assim como muitos outros, se um respeitável químico não o tivesse tomado sob sua proteção e o recomendado calorosamente como uma excelente realização.” (apud RIDDELL & ROBINSON, 1974: 2004)

Dez anos depois Van't Hoff publicaria a já mencionada edição comemorativa na qual apresentou um histórico das publicações sobre o tema, reproduzindo-as. Iniciou pelo trabalho de Le Bel e seguiu com o seu próprio panfleto. Por fim comentou sobre tradução alemã, a qual, em suas palavras “provocou dois julgamentos extremamente opostos da parte de dois químicos de primeira autoridade” (VAN'T HOFF, 1887: 17). Reproduz a apresentação de Wislicenus, a crítica de Kolbe e pondera:

“Este foi o começo. Apenas dez anos se passaram desde então. M. Kolbe já está morto e, como por um jogo fatal da sorte, M. Wislicenus foi quem o substituiu na universidade de Leipzig.” (VAN'T HOFF, 1887: 21).

De fato, nesses dez anos a que Van't Hoff se refere, suas ideias foram ganhando aceitação, em parte devido ao seu empenho em apresentá-las de forma clara, o que envolvia a utilização de modelos de papel, dos quais restaram três conjuntos, um deles depositado no Deutsches Museum em Munique e outros dois em Leiden no Museu Boerhaave (VAN DER SPEK, 2006: 161).

Já no panfleto holandês de 1874, Van't Hoff apresentou figuras, mostrando os possíveis arranjos de átomos em compostos de carbono, bem como as possibilidades de ligações duplas, nas quais os tetraedros se uniriam por uma aresta, e triplas, com união por uma face (Figura 2)

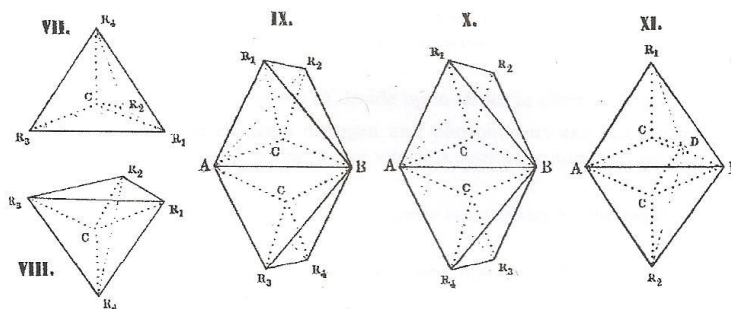


Figura 2: Esquemas de Van't Hoff no Panfleto holandês de 1874 (RAMBERG & SOMSEN, 2001: 73)

Nas publicações seguintes de *La chimie dans l'espace*, Van't Hoff incentivou o uso de modelos de papel para auxiliar na compreensão das ideias desenvolvidas no texto e se

oferecia a enviar conjuntos completos de modelos para quem solicitasse (VAN DER SPEK, 2006: 161). Além disso, Van't Hoff enviou conjuntos de modelos a vários químicos importantes que poderiam apoiar suas idéias. Mas também enviou um conjunto para o famoso químico e estadista francês Marcelin Berthelot (1827-1907) que já havia criticado suas idéias anteriormente. Tanto Berthelot quanto o já citado Kolbe não aceitavam a concepção atômica e, portanto, se opunham às propostas de Van't Hoff. Entretanto, sua oferta de envio de modelos parece ter cessado por volta de 1877 pois na tradução alemã de seu texto, ela é substituída por um esquema para que o próprio leitor construísse os modelos (Figura 3). Nessa época as idéias e a carreira de Van't Hoff se consolidavam e, daí, seu empenho e tempo para construir os conjuntos de modelos diminuía (VAN DER SPEK, 2006: 172).

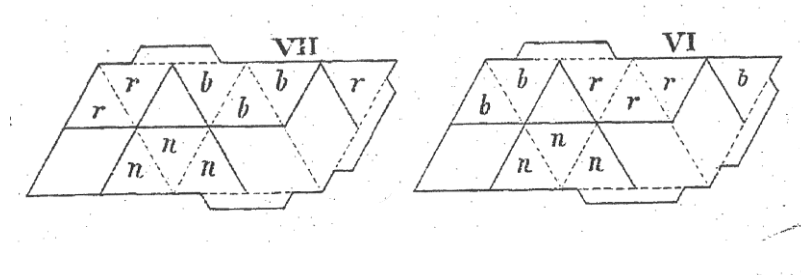


Figura 3: Esquemas para montar modelos (VAN'T HOFF, 1887: apêndice)

Levando em conta tais considerações sobre esse importante episódio da história da química pode-se entender os relevantes e diferentes papéis desempenhados pelos modelos na proposta, na difusão e na argumentação a favor das idéias de Van't Hoff. Utilizados anteriormente como recursos didáticos, as representações espaciais das moléculas orgânicas expressavam e divulgavam, ao mesmo tempo, a concepção atômica da matéria, ou seja, um modelo mental. Com Van't Hoff, os modelos passaram a ser explorados como argumentos em favor de suas idéias, o que, como visto, teve real eficiência.

O carbono tetraédrico no ensino de química

Num artigo publicado em 2011 no *Journal of Chemical Education*, o autor argumenta sobre a inadequação de explicar a estrutura tetraédrica do carbono com base no modelo de hibridização de orbitais, considerando, por exemplo a falta de base matemática dos estudantes universitários para entender mesmo o modelo de orbitais (GRUSHOW, 2011). Se o ensino desse modelo está sendo questionado no caso do ensino superior, o que dizer então do ensino médio?

De modo geral, os cursos tradicionais de química orgânica tem se caracterizado como mais um conjunto de regras e nomes químicos a decorar (ROQUE & SILVA, 2008). Entretanto, há muito o que explorar nas relações entre observações e idéias na química do carbono. Nesse sentido, o uso da história da química pode contribuir significativamente.

Como visto, a proposta da estrutura tetraédrica do carbono foi lançada numa época em que a própria concepção atômica da matéria ainda não era unanimidade entre os cientistas. Tanto é que químicos tão importantes quanto Kolbe e Berthelot combatiam essa concepção. Os que defendiam a teoria atômica pensavam no átomo como uma partícula pequena que podia formar um certo número de ligações com outros átomos, de acordo com sua valência. Fenômenos como a isomeria exigiram que se pensasse na

tridimensionalidade dos arranjos atômicos e ao mesmo tempo, o considerar a geometria das moléculas tornou possível prever o número de isômeros, a atividade ótica e até mesmo as possibilidades de reações das substâncias. Tudo isso sem nem mesmo se cogitar a existência de elétrons e muito menos de orbitais.

Tendo em vista o poder de explicação dessas ideias, pode-se pensar em utilizar o modelo histórico de Van't Hoff para o átomo de carbono nas aulas de química orgânica do Ensino Médio. Tal abordagem também favoreceria a apresentação de um episódio que envolveu grandes debates entre cientistas, contribuindo para que os estudantes concebam o caráter da ciência enquanto construção humana. Além disso, a possibilidade de se propor modelos e de pensar em seu poder de explicação e previsão favorece o entendimento da relação entre o observável e o não observável que caracteriza a própria química.

Dessa forma, pode-se considerar que abordagem da química orgânica em suas raízes históricas pode levar o aluno a aprender química, sobre a química e sobre o fazer químico.

Agradecimentos e apoios

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto “História da ciência e ensino: abordagens interdisciplinares no Ensino Superior (diagnóstico, formação continuada e especializada de professores)”, apoiado no Programa Observatório da Educação - Capes/Inep (proj no. 23038.002603/2013-47)

Referências

- ALFONSO-GOLDFARB, A. M. “Como se daria a construção de áreas interface do saber?” **Kairós**, V. 6, n. 1, 2003, p. 55-66.
- ARAÚJO NETO, W. N. “A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural”. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, n. 7, 2007, p. 13-24.
- BELTRAN, N. O. Idéias em movimento. **Química Nova na Escola**, n. 5, maio 1997, p. 14-17.
- BELTRAN, M. H. R. História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. **Abakós**, V. 1, n. 2, 2013, p. 67-77.
- CAMEL, T. O., C. B. G. KOEHLER, C. A. L. FILGUEIRAS. “A química orgânica na consolidação dos conceitos de átomo e molécula”. **Química Nova**, V. 32, 2009, p. 543-553.
- CHAGAS, A.P. **Como se faz química**. Campinas: Unicamp. 1989.
- FERREIRA, P.F.M. & R. S. JUSTI. Modelagem e o “fazer ciência”. **Química Nova na Escola**, n. 28, maio de 2008, p. 32-6.
- GIBIN, G.B.& L.H. FERREIRA. **Química Nova**, V. 33, n. 8, 2010, p. 1809-1814.
- GIORDAN, M., J. GÓIS, R. TORI, R. BIANCHINI, T. MONTES, Y. CORREA, J. BERNARDES. **XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, UFAM, 2004, p. 50-2.
- GROSSMAN, R. B. “Van't Hoff, Le Bel, and the development of stereochemistry: a reassessment.” **Journal of Chemical Education**, V. 66, n. 1, 1989, p. 30-33
- GRUSHOW, A. “Is it time to retire the hybrid atomic orbital?”, **Journal of Chemical Education**, V. 88, 2011, p. 860-862.

JUSTI, R. & J. GILBERT. “Philosophy of chemistry in university chemical education: the case of models and modeling”. **Foundations of Chemistry**, n. 4, 2002, p. 213–240

----- . “A cause of ahistorical science teaching: use of hybrid models”, **Science Education**, v. 83, n.2, 1999, p. 163-177.

LIMA M. B., P. DE LIMA-NETO. Construção de modelos para ilustração de estruturas moleculares em aulas de química. **Química Nova**, V. 22, n. 6, 1999, p. 903-6.

LE BEL, J. A. “Sur les relations qui existent entre les formules atomiques des corps organiques et le pouvoir rotatoire de leurs dissolutions”, **Bulletin de la Société Chimique de Paris**, t. 22, 1874, p. 337-347.

LOBATO, C. B. “Alguns aspectos sobre o calórico e o diâmetro dos átomos no trabalho de John Dalton”. Tese de Doutorado. São Paulo: PUCSP, 2011.

LOPES, C. V. M. & D. M. MARQUES,. “Modelos atômicos de J.J. Thomson e Ernest Rutherford”. In: Maria Helena Roxo Beltran; Fumikazu Saito; Laís dos Santos Pinto Trindade. (Org.). **História da ciência: tópicos atuais**. São Paulo, 2011, v. 2, p. 132-159.

MELZER, E. E. M., L. CASTRO, J. A. AIRES, O. M. GUIMARÃES. “Modelos atômicos nos livros didáticos de química: obstáculos à aprendizagem?”. **VII Enpec**. Florianópolis, 2009.

OKI, M. C. M. & E. F. MORADILLO. O ensino de história da química : contribuindo para a compreensão da natureza da ciência, **Ciência & Educação**,V. 14, n. 1, 2008, p. 67-88

RIBEIRO, A. A. & I. M. GRECA. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**, V. 26, n. 4, 2003, p. 542-549

ROQUE, N. F. & J. L. P. B SILVA. “A linguagem química e o ensino da química orgânica” **Química Nova**, V.31, n. 4, 2008, p. 921-923.

SAITO, F. “História da Ciência e Ensino: em busca de diálogo entre historiadores e educadores”. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, n. 1, 2010, p. 1-6.

SAITO, F, L. S .P. TRINDADE, M.H.R. BELTRAN. “História da Ciência e Ensino: ações e reflexões na construção de interfaces”. **XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)**. Brasília, DF, Brasil, 2010.

RAMBERG, P. J. & G. J. SOMSEN. “The young J. H. van’t Hoff: the background to the publication of his 1874 pamphlet on the tetrahedron carbon atom, together with a new English translation”, **Annals of Science**, V. 38, 2001, 51-74.

RIDDELL, F. G. & M. J. T. ROBINSON. “J. H. van’t Hoff and J. A. Le Bel – their historical context”, **Tetrahedron**, v. 30, 1974, p. 2001-2007.

VAN DER SPEK, T. “Selling a theory: the role of molecular models in J. H. van’t Hoff’s stereochemistry theory”, **Annals of Science**, v. 63, 2006, p. 157-177.

VAN’T HOFF, J. H. “A proposal for extending the currently employed structural formulae in chemistry into space, together with a related remark on the relationship between optical activating power and chemical constitution of organic compound”. Trad ingl da 1a. ed de Utrecht: J. Greven, 1874, in RAMBERG & SOMSEN (2001: 67-74).

----- . **Dix années dans l’histoire d’une théorie**. Rotterdam: P. M. Bazendjik, 1887.

ZANON L. B. & O. A. MALDANER (orgs.). **Fundamentos e propostas de ensino de química para a Educação Básica no Brasil**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007.