

DESENVOLVIMENTO DAS CATEGORIAS HISTÓRIA, MODELOS E EXPERIMENTAÇÕES: UMA ANÁLISE DO CONTEÚDO DE CINÉTICA QUÍMICA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO

DEVELOPMENT OF THE CATEGORIES HISTORY, MODELS AND EXPERIMENTATION: AN ANALYSIS OF THE CONTENT OF CHEMICAL KINETICS IN HIGH SCHOOL BOOKS

Nelci Reis Sales de Araujo¹; Leonardo Fabio Martinez²; Aline Bufeli Bianchini³; Luiz Antônio Andrade de Oliveira⁴

¹UNESP/Faculdade de Ciências; Colégio de Aplicação da UEL, Londrina; nelquimica@yahoo.com.br

²UNESP/Faculdade de Ciências/Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência; Professor Depto de Química, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colômbia; lemartinez@pedagogica.edu.co

³UNESP/Faculdade de Ciências; libianchini@yahoo.com.br

⁴UNESP/Instituto de Química/Departamento de Química Geral e Inorgânica; dqgiluiz@iq.unesp.br

Resumo

Os conteúdos de Cinética Química dos livros didáticos que integram o PNLEM (Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio) foram analisados conforme as categorias História, Modelos e Experimentações. A história do desenvolvimento da teoria da velocidade de uma reação é importante para a compreensão do processo de construção do modelo científico atual, pois permite acompanhar a evolução dos modelos adotados na interpretação dos dados obtidos nas diversas pesquisas que foram realizadas durante os séculos. O modelo teórico é ilustrado nos livros pela utilização das analogias e experimentações envolvendo também, modelos de ensino. A maioria dos textos dos livros mostra um modelo teórico para explicar a velocidade de reação, preferindo em especial, o modelo da Teoria de Colisões. Os experimentos sugeridos nos livros didáticos foram classificados de acordo com as categorias Motivacional, Funcional, Instrucional e Epistemológica utilizadas para a seleção de experimentos de Química no Ensino Médio.

Palavras-chave: História da Cinética Química; Modelos Científicos; Experimentação; Livro Didático.

Abstract

The chemical kinetics contents of the didactic books that integrate the PNLEM (Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio) were analyzed according to the categories History, Models and Experimentation. The history of the development of the reaction rate theory is important for the comprehension of the construction of the current scientific models, because it allows one to follow the evolution of the models adopted in the interpretation of the data obtained in several researches that were accomplished during the centuries. The theoretical model is illustrated in the books by the utilization of analogies and experimentation involving, also, teaching models. Most of the textbooks show a theoretical model to explain the speed of reaction, giving special emphasis to the Collision Theory Model. The experiments suggested in the didactic books were classified according to the categories Motivational, Functional, Instructional and Epistemology used for selection of chemistry experiments in High Schools.

Keywords: Chemical Kinetics History; Scientific Models; Experimentation; Didactic Books.

INTRODUÇÃO

A análise dos livros didáticos constitui uma área de muito interesse para os professores e pesquisadores de ensino de Química, já que eles são importantes no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos fundamentais da disciplina. As pesquisas realizadas com os livros didáticos, segundo MENDONÇA et al., (2004) mostram que os livros apresentam cinco problemas: 1) presença de obstáculos epistemológicos; 2) uniformidade dos textos; 3) desarticulação do conhecimento químico; 4) utilização inadequada de analogias e 5) presença de erros conceituais. Dentro do campo de análise dos conteúdos dos livros didáticos, o referencial epistemológico e histórico é cada vez mais valorizado (GALLEGO et al., 2004; LOPES, 1992, 1996), introduzindo novos caminhos de análises que procuram compreender a abordagem dos modelos científicos, as analogias, as experimentações, além de outros elementos de interesse.

Os modelos científicos, sua história e a utilização da experimentação são considerados importantes para o ensino e aprendizagem dos estudantes, ao possibilitar a construção do conhecimento científico. Nesta perspectiva, esse artigo tem o propósito de analisar o desenvolvimento dos temas da história, modelos e experimentações nos livros didáticos, que contemplam o conteúdo de Cinética Química. A preocupação com o assunto surgiu dentro da disciplina “Modelos, Experimentação e Evolução da Química” integrante do Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência, UNESP, campus de Bauru.

Os livros selecionados para essa investigação constam na portaria 366 de 31/01/2006 e foram avaliados e aprovados pelo PNLEM (Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio) da SEB (Secretaria da Educação Básica), que em 2008 distribuirá 7,2 milhões de livros de Química a todos os estudantes e professores do Ensino Médio. A lista com os seis livros de Química foi enviada às escolas para que os professores avaliassem e escolhessem o material didático.

HISTÓRIA DO DESENVOLVIMENTO DOS CONCEITOS E MODELOS DA CINÉTICA QUÍMICA

A Importância da História no Ensino de Ciências

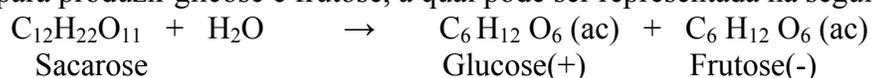
A inserção da História da Ciência vem sendo objeto de estudo de vários pesquisadores e de acordo com NARDI (1991, p. 6), as referências históricas no ensino de ciências devem ser “encaradas como elos de um processo de construção de conhecimentos”. A apresentação da ciência nos livros didáticos não pode ser a-histórica, sem referência a seu processo e ao contexto em que foi criada, como afirma PRETTO (1985). A História da Ciência promove uma melhor compreensão dos conceitos e dos métodos científicos, proporcionando o entendimento sobre a natureza da Ciência ao torná-la menos abstrata e mais humanizada, além de encorajar as novas idéias e conceitualizações (MATTHEWS, 1994, p. 50). Já para GAGLIARDI & GIORDAN (1986) ela pode mostrar em detalhes, os momentos da transformação da ciência, além de indicar quais foram as resistências sofridas. Nessa perspectiva histórica apresentada, consideramos importante relatarmos as descrições concernentes à construção dos conceitos e modelos da Cinética Química ao longo da história, que teve início com a preocupação de interpretar o fenômeno observado da velocidade de reação.

História dos Conceitos e Modelos da Cinética Química

O estudo da reatividade química entre ácidos – bases e metais e ácidos, durante os séculos XVIII e XIX, causou grande interesse na comunidade de químicos, levantando questionamentos a respeito da rapidez com que essas reações ocorriam. A idéia de Homberg em 1700, de que uma vez encontrada a força de uma base por um ácido, o tempo necessário para que o ácido absorvesse a base poderia ser estabelecido, possibilitou a base para W. Lewis relacionar o poder dos ácidos com a velocidade de suas atividades sobre os corpos estudados (PARTINGTON, 1964, p. 575). Os

trabalhos de reatividade química de C. F. Wenzel (1740-1793) e L. J. Thernard (1771-1857), ilustram essa situação, pois questionaram a respeito da rapidez com que os metais reagiam com os ácidos e na decomposição do peróxido de hidrogênio, mas estas preocupações não foram suficientes para estabelecer a metodologia experimental para a medida da velocidade de uma reação química (LAIDLER, 1993).

A dificuldade encontrada na época era especialmente os dados empíricos e foi superada pelos trabalhos independentes de L. F. Wilhelmy (1812-1864) e Harcourt & Esson, praticamente na metade do século XIX, para medir a velocidade de reação (PARTINGTON, 1964). Em 1850, Wilhelmy, de acordo com PARTINGTON (1964, p. 583) conseguiu medir a velocidade de decomposição do açúcar da cana (sacarose) quando reagia com água (hidrólise) em diferentes meios ácidos, para produzir glicose e frutose, a qual pode ser representada na seguinte equação:



Ele sabia que esses açúcares apresentavam diferentes atividades ópticas – propriedade de desviar o plano da luz planopolarizada e, portanto, lhe permitia acompanhar o progresso da reação em função do tempo, através da variação do ângulo de rotação da sacarose medida em um polarímetro. Wilhelmy (1850), segundo PARTINGTON (1964, p. 583 e 584) adotou Z ‘Zucker’ para a quantidade de açúcar e S ‘Säure’ para o ácido, concluindo que a variação infinitesimal da concentração do açúcar pelo tempo ¹: pode ser representada pela equação 1¹: $-\frac{dZ}{dT} = MZS$ (1)

Onde dZ é a variação da quantidade de açúcar em um intervalo de tempo dT e M é o coeficiente de velocidade e é independente de Z e, conseqüentemente, de T . A equação 1 dá, por

integração, a equação 2²: $\text{Log}Z = -\int_0^T MSdT$ (2). Posto que S é uma constante e M é independente de

T , Wilhelmy mostrou em seu experimento que: $\text{Log}Z = -MST + C$ (3). Para $T = 0$, $Z = Z_0$, portanto, a equação 3 pode ser escrita como: $\text{Log}Z_0 - \text{Log}Z = MST$ (4). De acordo com a equação 4, a velocidade de reação para a hidrólise do açúcar da cana é proporcional a concentração do açúcar, o que era consistente com os resultados experimentais obtidos em seu trabalho. Ainda, Wilhelmy estudou a hidrólise da sacarose em diferentes temperaturas (15° C, 18° C, 16° C, e 14.5° C), evidenciando que o tempo da hidrólise da sacarose diminuía à medida que aumentava a temperatura, estabelecendo os primeiros indícios da influência da temperatura na velocidade de reação (Id. Ibid., p. 584).

A lei da velocidade de reação, segundo PARTINGTON (1964, p. 585; 1989, p. 325) foi descoberta independentemente de Wilhelmy e Guldberg & Waage por Harcourt & Esson, que estudaram a ação de uma solução de permanganato de potássio em ácido sulfúrico diluído sobre uma solução contendo sulfato de manganês (II) e excesso de ácido oxálico. Eles resolveram as equações diferenciais para as reações estudadas (PARTINGTON, 1989, p. 325) e disseram: “a velocidade da mudança química é diretamente proporcional à quantidade da substância sofrendo mudança”, que é a lei de ação de massa (op. cit., p. 586), contudo, a lei foi anunciada primeiro por Guldberg & Waage (PARTINGTON, 1989, p. 325). Em 1866, também investigaram a reação $2\text{HI} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$ em presença de ácido sulfúrico diluído e a velocidade de reação entre o FeCl_3 e SnCl_2 constatando o efeito da temperatura sobre eles. Eles não usaram o termo “afinidade”, limitando a lei

¹ É necessário esclarecer que o símbolo T, usado na equação para representar o tempo, era utilizado na época de Wilhelmy.

² Log Z entende-se, atualmente, como lnZ.

de ação e massa para o efeito da concentração sobre a velocidade de reação, um procedimento seguido depois por van't Hoff (op. cit., p. 587). De acordo com LAIDLER (1993), Harcourt & Esson foram os primeiros que apresentaram a proposta de que, para o caso da reação elementar, a velocidade de reação é proporcional à concentração de um dos reagentes, que hoje conhecemos como reação de primeira ordem. Para a reação de segunda ordem, consideraram que a velocidade é diretamente proporcional ao produto da concentração dos reagentes. Essa fundamentação possibilitou que a expressão 'ordem de reação' fosse introduzida por W. Ostwald e tratada por van't Hoff, que conseguiu diferenciar a ordem de reação de molecularidade. Ordem de reação é a potência a que a concentração de uma espécie é elevada em uma lei de velocidade com respeito àquela espécie. A lei de velocidade de reação é a designação de uma equação experimentalmente determinada. As leis de velocidade são equações diferenciais (ATKINS, 1994, p. 866 e 869). A molecularidade de uma reação elementar é o número de moléculas reunidas para reagir numa dada etapa (Id. Ibid., p. 882). Os estudos da velocidade de reação e equilíbrio ganharam grande impulso, após as pesquisas de van't Hoff, em particular, a divisão das reações em uni, bi e multimolecular (PARTINGTON, 1964, p. 658 e 660).

Para a compreensão da dependência da velocidade com o fator 'temperatura', os químicos trabalharam durante a segunda metade do século XIX e todo o século XX. A influência da temperatura sobre a velocidade de reação foi estudada por Wilhelmy, (1850) e Berthelot & Saint-Gilles (1862) (PARTINGTON, 1964, p. 661). Contudo, Wilhelmy tivesse discutido a dependência da velocidade com a temperatura, não conseguiu propor uma equação em termos da constante de equilíbrio para as reações reversíveis. Berthelot & Saint-Gilles estudaram a reação álcool + ácido = éster + água, na qual nunca ocorre a conversão total dos reagentes a produtos, mas se aproxima lentamente de um limite correspondendo ao equilíbrio e propuseram "a quantidade de éster formado em cada momento é proporcional ao produto das substâncias reagentes e inversamente proporcional ao volume" (PARTINGTON, 1989, p. 325). Embora, eles deduziram as expressões matemáticas para a velocidade de reação, não chegaram na lei de ação de massa, como posteriormente formulada por Guldberg e Waage, porque não consideraram a velocidade da reação contrária entre o éster e água, embora, soubessem de sua importância. Eles mostraram que o aumento de temperatura aumenta a velocidade de reação, mas a pressão tem pequena influência (PARTINGTON, 1964, p. 584-885).

O mais importante, no entanto, foi feito por van't Hoff em seu trabalho *Études de Dynamique Chimique*, publicado em 1884, que mostra o tratamento geral da velocidade de reação e a aplicação da termodinâmica para a Química (PARTINGTON, 1989, p. 303). Segundo LAIDLER (1993), van't Hoff praticamente consolida as bases para o estabelecimento da equação que relaciona satisfatoriamente a constante de velocidade e temperatura, possibilitando que Arrhenius desenvolvesse sua pesquisa que levaria em 1910 (LAIDLER & KING, 1983, p. 2657) ao

estabelecimento da famosa equação que conhecemos atualmente por como: $k = Ae^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$ (5). O desenvolvimento dessa equação, segundo LAIDLER & KING (1983, p. 2657) requeria uma consideração mais detalhada do significado da energia de ativação E_a e do *pré-exponencial* de "frequência", fator A.

Os trabalhos de L. Pfaundler publicados em 1867 e 1872 faziam parte dos tratamentos de Mecânica Estatística e contribuíram para o desenvolvimento da Teoria do Estado de Transição. Os projetos dele eram baseados nas idéias acerca da dinâmica de equilíbrio, conforme sugeridos por Williamson & Clausius em 1850, seguramente tendo em conta o apoio de Guldberg & Waage. Os trabalhos destes investigadores estavam sustentados na tese de que o equilíbrio químico é alcançado, quando as forças direta e oposta atuantes no sistema são iguais. Por outro lado, mesmo quando o

sistema químico atinge o equilíbrio, a reação continua ocorrendo, e a velocidade de reação, tanto da reação direta como da inversa, são iguais (LAIDLER & KING 1983, p. 2660). Estes pontos foram considerados por van't Hoff, que reconheceu o trabalho de Pfaundler de 1867, que falava da dissociação dos gases a altas temperaturas, de acordo com a descrição qualitativa da distribuição das velocidades moleculares feita por Clausius, considerando que somente as moléculas que alcançavam uma determinada energia sofriam reação. Nesse trabalho Pfaundler fez uma discussão qualitativa de equilíbrio químico e velocidade de reação química, em termos dos movimentos moleculares e da estatística de distribuição de velocidades moleculares, um conceito que só tinha sido tratado previamente por Maxwell e Boltzmann, em 1860.

Os modelos teóricos de Cinética Química tiveram grande desenvolvimento nas três primeiras décadas do século XX, considerando a evolução da Teoria do Estado de Transição que foram discernidos em três linhas de desenvolvimento: i) os tratamentos termodinâmicos; ii) os tratamentos da teoria cinética e iii) os tratamentos da Mecânica Estatística (LAIDLER & KING, 1983, p. 2658). As abordagens termodinâmicas da teoria da velocidade foram formadas a partir da contribuição de van't Hoff em 1884, que diretamente inspirou Arrhenius a propor sua famosa equação (Id. Ibid., p. 2658). Os tratamentos da teoria cinética a respeito do fator pré-exponencial foram abordados independentemente por A. M. Trautz e W. Lewis, em 1916-1918, baseados na teoria de colisão de gases. Com base na hipótese de radiação, diziam que a reação química é provocada pela absorção de radiação infravermelha. As reações unimoleculares gasosas eram inexplicáveis a partir das colisões moleculares. A hipótese foi questionada e abandonada pelas contribuições de I. Langmuir e V. Chermwell (LAIDLER & KING 1983, p. 2659).

Segundo LAIDLER (1993), a teoria cinética simples conduziria ao modelo da Teoria da Colisão. A colisão de moléculas simples, tal como havia sido abordado por Clausius e outros pesquisadores ao considerarem que para um gás que continha moléculas de A e B consideradas como esferas rígidas que se chocam entre si, freqüentemente, e em um recipiente fechado à determinadas condições, o número de colisões entre A e B seria regido pela seguinte equação:

$$Z_{AB} = N_A N_B d_{AB}^2 (8\pi k_B T \frac{m_A + m_B}{m_A m_B})^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Na equação seis (6) N_A e N_B são os números de moléculas por unidade de volume; d_{AB} é a soma de seus raios (a distância entre seus centros quando colidem, ou seja, seu diâmetro); m_A e m_B são as massas das moléculas; k_B a constante de Boltzmann e T a temperatura absoluta. Lewis e Trautz consideraram a freqüência de colisões Z_{AB} pela fração de $-\frac{E}{RT}$ que expressa a fração de moléculas com suficiente energia para que a reação tenha lugar. Neste sentido a constante de velocidade k seria determinada pela seguinte equação:

$$k = L d_{AB}^2 (8\pi k_B T \frac{m_A + m_B}{m_A m_B})^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{E}{RT}} \quad (7)$$

A equação foi usada por Lewis para o caso da reação $2 \text{HI}_{(g)} \rightarrow \text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)}$ obtendo bons resultados na verificação experimental (LAIDLER & KING 1983, p. 2660), porém, não mantêm o mesmo comportamento para outras reações. As inconsistências de alguns dados experimentais fizeram com que a teoria de colisões fosse considerada um modelo que interpreta a cinética das reações em termos de colisões, mas devendo se ajustar aos dados empíricos.

Os tratamentos da Mecânica Estatística contribuíram para outro modelo de Cinética Química, conhecido como Teoria do Estado de Transição, proposto por H. Eyring e M. Polanyi numa publicação de 1931 (LOGAN, 2000) que descreveram a superfície de energia potencial para

uma reação química. Polanyi estudou o tipo de energia (translacional, rotacional ou vibracional) mais efetiva para o desenvolvimento das reações, obtendo informações a respeito do destino da energia excedente, aquela que é necessária para superar a barreira energética que deve alcançar determinada fração de moléculas dos reagentes, antes de formar novas moléculas dos produtos. Ainda, foi o primeiro em caracterizar espécies químicas que se encontravam em transição, conhecido como complexo ativado da reação. Assim, em 1935, se constituiu o modelo do estado de transição com a elaboração da fórmula de Eyring, da Teoria do Estado de Transição (LAIDLER & KING, 1983, p. 2657). O trabalho de Eyring & Polanyi de 1931, possibilitou que, em 1935, juntamente com as contribuições significativas de Pelzer, E. Wigner e de Evans, se consolidasse definitivamente a teoria (Id. Ibid., p. 2657). Segundo LOGAN (2000), o modelo tem dois postulados: 1) durante a reação de A com B há em algum momento uma configuração dos átomos constituintes de tal forma que a espécie formada pode espontaneamente gerar a reação, tanto para formar os produtos, bem como os reagentes A e B e 2) esta espécie pode ser denominada estado de transição da reação, suposta em equilíbrio com os reagentes. Estes postulados são resumidos na seguinte seqüência de reações: $A + B = \ddagger \rightarrow \text{Produtos}$

A RESPEITO DAS EXPERIMENTAÇÕES

O ensino realizado com o uso da experimentação é considerado essencial para a aprendizagem dos estudantes de ciências. No trabalho de SALES DE ARAUJO (2007) são destacados alguns aspectos relacionados às atividades experimentais tais como: a história do desenvolvimento do ensino no laboratório; a experimentação frente às perspectivas dos licenciandos em formação e os experimentos e a aprendizagem, destacando os aspectos instrucionais e epistemológicos nos três enfoques. O trabalho investigou as prioridades da seleção de experimentos que os professores e licenciandos consideram para o ensino de ciências no laboratório didático pela leitura heurística das categorias Motivacional, Funcional, Instrucional e Epistemológica da investigação de LABURÚ (2005). A análise das categorias foi realizada segundo os itens elaborados por esses dois autores, conforme os depoimentos dos docentes e discentes a respeito da importância da escolha de experimentos. Esses participantes apontavam tanto o laboratório didático como a sala de aula, como os prováveis locais para a realização dos experimentos. Para os professores e licenciandos quanto ao instrucional e epistemológico, entendemos que os experimentos visam enriquecer o processo da aprendizagem dos conceitos, no sentido da organização do conhecimento científico. E são utilizados não somente no laboratório didático, como também nas salas de aula e nos museus de ciências, tanto por demonstrações como executados pelos estudantes. Os experimentos não são atividades de lápis e papel, pois empregam materiais/reagentes e equipamentos específicos de laboratório, ou ainda, utilizam materiais alternativos e substâncias compatíveis. Nesta perspectiva, a investigação dos experimentos sugeridos nos livros foram analisados conforme os itens elaborados a partir das categorias da seleção de experimentos.

METODOLOGIA DE PESQUISA

Com o objetivo de responder a proposta de investigação, utilizamos uma metodologia de pesquisa de natureza qualitativa, baseada na análise documental, que segundo CAULLEY *apud* LÜDKE & ANDRÉ (1986) “busca identificar informações factuais nos documentos a partir de questões ou hipóteses de interesse”. Entendem-se os documentos como diferentes fontes de informações que podem ser revistas, jornais, discursos, roteiros de programas de televisão e rádio, arquivos escolares, estatísticas e até livros.

A análise das categorias História, Modelos e Experimentações, conforme propomos foi realizada nos livros enumerados a seguir:

- 1) FELTRE, R., *Química*. Volume 2. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004. Código: 102480
- 2) CANTO, E. L. & PERUZZO, F. M. *Química na Abordagem do Cotidiano*. Volume 2. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2003. Código: 102474.
- 3) MORTIMER, E. F. & MACHADO, A. H. *Química para o Ensino Médio: Série Parâmetros*. São Paulo: Scipione, 2007. Código: 102444.
- 4) BIANCHI, J. C. A.; ABRECHT, C. H.; DAL TAMIR, J. M. *Universo da Química: Química Ensino Médio*. São Paulo: FTD, 2005. Código: 102364.
- 5) SANTOS, W. L. P. S.; MÓL, G. S.; MATSUNAGA, S. M. F. D.; CASTRO, E. N.; SILVA, G. S.; SANTOS, S. M. O.; FARIAS, S. B. *Química. & Sociedade*. São Paulo: Nova Geração, 2007. Código: 102512.
- 6) NÓBREGA, O. S.; SILVA, E. R.; SILVA, R. H. *Química*. São Paulo: Ática, 2007. Código: 102410.

Os livros didáticos foram relacionados nessa ordem na matriz conceitual temática que elaboramos conforme sugerem MILES & HUBERMAN (1994, p. 127-234), pois a análise dos textos de Cinética Química frente às categorias de estudo, abrange diversos temas conceituais. A matriz permite exibir os temas e é conhecida como “matriz conceitualmente agrupada” (Id. Ibid., p. 127-128). Os dados foram organizados com base na fundamentação teórica das três categorias de estudo. As análises foram exibidas num formato visual: Categorias/Livros Didáticos, para proporcionar a leitura imediata de cada tema das categorias. As categorias História, Modelos e Experimentações são compostas por itens que foram codificados para a exposição das informações da análise dos livros didáticos, conforme os códigos NC para nada consta; P para consta parcialmente e C para consta os itens das categorias, uma codificação semelhante a indicada por MILES & HUBERMAN (1994, p. 91).

Como base na fundamentação teórica da evolução dos conceitos da Cinética Química e da experimentação nos livros didáticos elaboramos os seguintes itens com suas codificações:

HC₁: Utiliza a construção histórica dos conceitos fundamentais da Cinética Química?

O livro faz referência ou descreve a evolução dos conceitos de velocidade de reação, ordem de reação e fatores que influem na velocidade, mostrando os questionamentos que levaram os químicos à elaboração de metodologias experimentais para medir a velocidade de reação e também a construir equações diferenciais para interpretar o fenômeno da velocidade da reação? O texto apóia-se na história para explicar melhor os conceitos da cinética favorecendo a aprendizagem dos estudantes, evitando o desenvolvimento de erros conceituais?

HC₂: Mostra historicamente a necessidade da construção de um modelo teórico para a Cinética Química?

O texto expõe a necessidade de construir modelos teóricos para explicar a formação de moléculas, de acordo com os critérios cinéticos e o estudo molecular do fenômeno? Para isso discute os fundamentos do modelo da teoria de colisões e/ou modelo teórico do estado de transição? A utilização das analogias facilita a aprendizagem do modelo científico de Cinética Química ou se torna um obstáculo para compreensão dos modelos e dos conceitos fundamentais?

Para a categoria Experimentações utilizamos alguns dos itens das categorias Motivacional, Funcional, Instrucional e Epistemológica de LABURÚ (2005), que foram elaborados para a seleção de experimentos de Química no Ensino Médio de SALES DE ARAUJO (2007).

EC₁: Os experimentos de Cinética Química sugeridos nos livros abordam a categoria Motivacional nos itens descritos a seguir:

- 1) O experimento é interessante, por tratar de fenômenos do cotidiano e sua tecnologia?
- 2) O experimento em que os estudantes vão gostar ou se entusiasmar com a observação do resultado do experimento?

EC₂: Os experimentos de Cinética Química sugeridos nos livros abordam a categoria Funcional nos itens de funcionalidade e objetividade descritos a seguir:

- 1) No tempo de sua realização?
- 2) Experimento em que os materiais/reagentes e equipamentos estão disponíveis no laboratório para sua realização, ou que ao menos os materiais são encontrados no dia-a-dia?
- 3) Experimento que tem características simples e fácil de montar e trabalhar e dá o resultado esperado e confiável?
- 4) Experimento que mantém condições de ser realizado com segurança?

EC₃: Os experimentos de Cinética Química sugeridos nos livros abordam a categoria Instrucional nos itens descritos a seguir:

- 1) O experimento ilustra, aplica (vivencia), descobre e reforça o conteúdo científico trabalhado em sala de aula?
- 2) O experimento em que o conteúdo faz conexões com a tecnologia ou cotidiano?

EC₄: Os experimentos de Cinética Química dos livros abordam a categoria Epistemológica nos itens descritos a seguir:

- 1) O experimento em que a observação é importante para a construção das teorias científicas?
- 2) O experimento que prova fatos para os estudantes acreditarem?
- 3) O experimento que faz conexões entre as teorias científicas aprendidas pelos estudantes com o mundo?

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas categorias apresentadas na metodologia realizamos a análise dos livros didáticos e os resultados são mostrados na matriz abaixo. Com relação ao item HC₁, observamos que a construção histórica dos conceitos de Cinética Química não consta nos livros. Além disso, notamos que em outros conteúdos, tais como: Estrutura Atômica; Ligações Químicas e Tabela Periódica, em geral há comentários dos aspectos do progresso histórico das teorias e modelos. Mas, a medida que abordam outros assuntos como: Termoquímica; Cinética Química e Equilíbrio Químico, as referências históricas se diluem; assim, a história destes enfoques de certa forma são menos explorados no ensino de Química.

Matriz Conceitual Temática – Análise dos Textos de Cinética Química. Formato: Categorias/Livros Didáticos.

Livros Didáticos	HC ₁	HC ₂	EC ₁		EC ₂				EC ₃		EC ₄			
			1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	
Feltre (2004)	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P
Canto & Peruzzo (2003)	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	P	P
Mortimer & Machado (2007)	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Bianchi et al. (2005)	P	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	NC
Santos et al. (2007)	P	C	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Nóbrega et al. (2007)	NC	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	C	C	C

NC nada consta; P consta parcialmente e C consta.

Nos livros de Feltre, Bianchi et al. e Santos et al constam parcialmente a história de uma determinada época, pois observamos que há somente a inserção de alguns dados químicos que apontaram algumas idéias para o desenvolvimento de um conceito, deixando de lado a discussão dos problemas teóricos assentados nos fatos experimentais que orientaram a investigação. Contudo, não apresentavam erros conceituais e tampouco conduziria os estudantes a formarem concepções errôneas a respeito da construção da Cinética Química.

Na análise do item HC₂ observamos que a maioria dos textos mostra um modelo teórico para explicar a velocidade de reação, preferindo em especial, o modelo teórico de colisões. Ao

trabalhar os modelos, somente os livros de Canto & Peruzzo, Bianchi et al. e Santos et al., esclarecem que o modelo é uma representação molecular do progresso da reação química, mesmo devido a não visualização dos átomos e suas interações, parte essa que é exposta com clareza. Além disso, explicam as condições que devem ser satisfeitas para que uma colisão seja efetiva. O livro de Mortimer & Machado é estruturado de forma que os modelos de ensino são voltados para o trabalho com projetos de ensino, mas assim mesmo mostra os tratamentos termodinâmicos em outros conteúdos como o de equilíbrio e termodinâmica, elementos que são mais observados nos experimentos. O significado de um modelo teórico evita o desenvolvimento de obstáculos realistas (LOPES, 1992, 1996) que podem gerar dificuldades na aprendizagem dos estudantes. Estes obstáculos surgem ao outorgar propriedades macroscópicas aos átomos e moléculas, por exemplo, os estudantes podem pensar que os átomos de ouro são amarelos. Há obstáculo epistemológico (LOPES, 1992) no livro de Feltre, quando explica que o modelo de colisões prevê que a velocidade da reação depende da energia dos choques entre as moléculas, pode-se entender que a energia de uma colisão está diretamente ligada com a força da colisão, deixando a idéia de que um choque forte conduz a uma maior energia e, portanto, a colisão seria efetiva. Tal abordagem pode gerar um obstáculo verbal dificultando a compreensão dos estudantes de que uma colisão será efetiva se for energeticamente viável e não porque o choque é mais forte ou mais fraco. Nos livros de Canto & Peruzzo, Santos et al. e Nóbrega et al constam a abordagem da categoria Modelos, estabelecendo as relações pertinentes entre os resultados experimentais e o modelo da Teoria de Colisões.

Os itens da categoria Experimentações foram utilizadas para analisar 5 experimentos do livro de Nóbrega et al.; 3 experimentos dos livros de Feltre e de Mortimer & Machado; 2 experimentos dos livros de Canto & Peruzzo e Bianchi et al. Não havia indicação nos textos de Cinética Química para a realização de atividade experimental no livro de Santos et al., contudo, o mesmo sugere experimentos para outros conteúdos da Química. A análise global da matriz indicou que os experimentos possuem elementos da categoria Motivacional porque apresentam características que motivam por serem interessantes, pois utilizam substâncias ou materiais como, por exemplo, comprimidos efervescentes, água oxigenada e seringa do cotidiano que os estudantes conhecem do mundo real, uma constatação também observada nos trabalhos com substâncias ou materiais alternativos de KERBER & AKHTAR (1996); GIFFORD et al. (2004) e SWARTLING & MORGAN (1998). Os dois itens dessa categoria foram observados em todos os livros que sugerem experimentos de natureza qualitativa que contribui para a formação da observação primeira da construção do modelo teórico, que motiva pela comparação relativa da “rapidez da reação”, por administração de fenômenos que os estudantes conhecem da vida diária. O livro de Nóbrega et al. mostra essa visualização ao comparar a velocidade relativa a partir das cores envolvidas nas reações químicas. Os dados quantitativos são observados, por exemplo, no segundo experimento do livro de Mortimer & Machado, ao exigir dos estudantes as habilidades procedimentais e cognitivas, motivando-os para alcançar os resultados corretos e verificar por cálculos, a velocidade de reação, ou seja, procurar o conhecimento científico a partir da vivência dos fenômenos da vida diária.

Os itens da categoria Funcional que contemplam as condições de funcionamento do laboratório escolar bem como a objetividade dos experimentos, foram observados em todos os livros didáticos, exceto o de Santos et al. Tais questões não aparecem explícitas em alguns livros, mas foram observadas nas pesquisas de SALES DE ARAUJO (2007) e LABURÚ (2005) que verificaram as prioridades dos professores para a seleção de experimentos. Há comentários em alguns livros que corroboram esses resultados, como o livro de Feltre que diz que os experimentos utilizam materiais, equipamentos e reagentes de fácil obtenção e/ou aquisição, ou ainda de Canto & Peruzzo, que chama a atenção para os cuidados com a manipulação dos instrumentos e produtos químicos. O tempo da realização dos experimentos sugeridos é compatível com a disponibilidade da

hora/aula do professor, assim como, mantém as condições de serem realizados com segurança, tanto pelo docente como pelos estudantes e, além disso, são simples e fáceis de montar e trabalhar, pois com as habilidades procedimentais apresentam os resultados esperados e confiáveis pelo professor. Os materiais indicados para a realização estão disponíveis com facilidade nos laboratórios didáticos das escolas, mas na sua falta, são materiais de fácil acesso e de baixo custo, além de serem encontrados no dia-a-dia ou ainda podem ser substituídos por materiais alternativos.

O item 1 da categoria Instrucional foi observado em todos os livros, exceto no livro de Santos et al. Os dados parciais do item 2, são ocasionados somente pela conexão com o cotidiano, mas não com a tecnologia. Os experimentos retratam conteúdos da Cinética Química que ilustram os fatores que influem na velocidade de reação, considerando que os estudantes vivenciam a teoria trabalhada na sala de aula, reforçando a aprendizagem. Nesse sentido, Feltre diz que os experimentos visam a ilustrar e a esclarecer o assunto estudado de maneira simples e segura.

Os itens da categoria Epistemológica são tratados parcialmente nos experimentos sugeridos nos livros. Os livros contemplam os experimentos em que a observação da fenomenologia primeira é importante para a construção do conhecimento científico (BACHELARD, 1996, p. 11) embora, sejam de natureza qualitativa da velocidade relativa da reação química. Assim, o modelo teórico em evidência pode ser transformado em observação ou “visualização” de fenômenos naturais das ciências conduzindo à verdade. Os experimentos que tratam somente de dados qualitativos contemplam apenas essa primeira etapa, como a observação do objeto, dada, por exemplo, pela verificação das velocidades relativas das reações pelos fatores da superfície de contato, ou ainda, pela coloração como o modelo experimental de HARCOURT & ESSON, conforme colocado por PARTINGTON (1964, p. 585) e ilustrado pelo livro de Nóbrega et al.

Os experimentos que tratam de dados quantitativos comprovam os fatos experimentais para os estudantes acreditarem no modelo teórico, são poucos sugeridos nos livros, tirando a oportunidade dos estudantes realizarem a reprodutibilidade de dados, assim não devem ficar somente na reprodução dos fenômenos visualizados. Uma vez que as habilidades cognitivas são desenvolvidas pelos cálculos que auxiliam a construção do modelo teórico, principalmente, quando provado experimentalmente pelos fenômenos observados e se os dados foram medidos nos tempos corretos, uma observação semelhante já tratada nas questões dos processos de medidas e da determinação de constantes físicas observadas nos trabalhos (RYDER & LEACH, 2000; LUBBEN & MILLAR, 1996; SÉRÉ et al., 1993). Nem todos os livros conduzem às conexões entre o modelo científico aprendido pelos estudantes com o mundo real. A contextualização do conteúdo dos experimentos com substâncias ou materiais alternativos da vida diária dos estudantes, facilita a verificação dos conhecimentos que contribuem para as complementações dos textos que proporcionam a aprendizagem. Nesse sentido, encontramos nos textos do livro de Mortimer & Machado que além de utilizar substâncias da vida diária, ainda sugere na atividade 2, que os estudantes procurem por informações da substância, sua constituição e uso com intenção de favorecer, posteriormente, as discussões.

CONCLUSÕES

As considerações da categoria História dos conceitos da Cinética Química pode contribuir para a construção de uma imagem da atividade científica, mostrando as buscas de diferentes metodologias experimentais utilizadas para compreender a velocidade de reação química, além de buscar explicações teóricas para os resultados experimentais. Essa perspectiva, se trabalhada pelos professores, ajuda a superar a concepção a-histórica que algumas vezes aparecem nos livros didáticos e pode promover uma melhor compreensão dos conceitos, ao mesmo tempo, que torna a Química uma ciência menos abstrata. Além disso, os estudantes poderão interpretar as equações

empíricas da cinética no próprio contexto de onde foram produzidas, sendo assim mais significativas para a aprendizagem, principalmente no ensino superior. Assim, entendemos a possibilidade de remetermos algumas recomendações que consideramos importantes para os professores ensinar a história da Cinética Química no Ensino Médio, como enunciaremos:

- 1) Identificar os problemas iniciais que foram trabalhados pelos químicos que levaram à compreensão da “rapidez” de uma reação química;
- 2) Ilustrar as dificuldades, discussões e resistências desenvolvidas para estabelecer diferentes metodologias experimentais para medir e representar a velocidade de reação;
- 3) Discutir os modelos da teoria de colisões e do estado de transição como uma representação teórica para explicar como ocorrem as reações de modo submicroscópico, relacionando-os com os resultados experimentais.

Uma sugestão idealista seria que as escolas públicas tivessem condições de funcionalidade e objetividade para abarcar os recursos de ensino de Química de velocidade de reação, por algumas reproduções de exemplares históricos de experimentação. Mas, os dados empíricos dos fatos experimentais tratados nas categorias História e Modelos e descritos nos livros podem ser desenvolvidos de modo interessante, por atividades de lápis e papel; ademais, os autores de livros abordam essa preocupação com experimentos compatíveis com a realidade do ensino de ciências nas escolas. Dessa forma, entendemos que o enfoque da história da Cinética Química possibilita a valorização da importância dos fatos experimentais no desenvolvimento dos modelos científicos. A elaboração de metodologias experimentais condizentes com os paradigmas envolvidos pode ser ressaltada pelos professores das universidades, que ao valorizar o papel significativo dos dados experimentais que interpretam a constituição dos conceitos teóricos, auxilia também os pensamentos dos estudantes nos projetos experimentais, em função dos problemas empíricos gerados. Para o Ensino Médio, entendemos que os experimentos sugeridos nos livros devam ser direcionados pela contextualização dos conteúdos para a formação do conhecimento científico dos modelos teóricos e da ação social, podendo ser estendidos, não somente aqueles regularmente matriculados nas escolas, mas, sobretudo, que possuam conhecimentos que possam ser administrados nas atividades experimentais para o Ensino Fundamental, ou nos museus de ciências abertos a sociedade em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINS, P. W. *Physical Chemistry*. 5. ed. Oxford University Press, 1994.
- BACHELARD, G. *A Formação do Espírito Científico*. Tradução de Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996, 314 p.
- GALLEGO, R. et al. El Concepto de Valencia: Su construcción histórica y epistemológica y la importancia de su inclusión en la enseñanza. *Educação e Ciência*, Bauru, v. 10, n. 3, 2004.
- GAGLIARDI, R., GIORDAN, A. La Historia de las Ciencias: Una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, v. 4, p. 253-258, 1986.
- GIFFORD, L. K.; ECKENRODE, H. M.; ROGERS, L. C. A Partnership Incorporating Labs into an Existing Chemistry Curriculum: Access science. *Journal of Chemical Education*, American Chemical Society, Madison, v. 81, n. 10, p. 1505-1509, Oct. 2004.
- KERBER, R. C.; AKHTAR, M. J. Getting Real: A General Chemistry laboratory program focusing on “real world” substances. *Journal of Chemical Education*, American Chemical Society, Madison, v. 73, n. 11, p. 1023-1025, Nov. 1996.
- LABURÚ, C. E. Seleção de Experimentos de Física no Ensino Médio: Uma investigação a partir da fala dos professores. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 1-19, Ago. 2005.

- LAILER, K. J. & KING, M. C. The Development of Transition-State Theory. *Journal of Physical Chemistry*, v. 87, p. 2657-2664, 1983.
- _____. *The World of Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press, 1993p.
- LOGAN, S. R. *Fundamentals of Chemical Kinetics*. Madrid: Addison Wesley. p.1-82, 2000.
- LOPES, A. R. C. Livros Didáticos: Obstáculos ao aprendizado da ciência química. *Química Nova*, v. 15, n. 3, p. 254-281, 1992.
- _____. Potencial de Redução e Eletronegatividade - obstáculo verbal. *Química Nova na Escola*, n. 4, p. 22-23, 1996.
- LUBBEN, F. & MILLAR, R. Children's Ideas About the Reliability of Experimental Data. *International Journal of Science Education*, Routledge, v. 18, n. 8, p. 955-968, 1996.
- LÜDKE M & ANDRÉ, M. *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*. EPU; São Paulo. 1986.
- MARTÍNEZ, L. *Concepciones Alternativas de Profesores de Química en Formación, con Respecto a Cinética Química y Estrategia de Enseñanza y Aprendizaje*. Tesis de Maestría. Universidad Pedagógica Nacional; Bogotá: 2006.
- MATTHEWS, R. M. *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*, Routledge Press; New York, 1994.
- MENDONÇA, R. J.; CAMPOS, A. F.; JÓFILI, Z. M. O Conceito de Oxidação-Redução nos Livros Didáticos de Química Orgânica do Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 20, p. 45-48, Nov. 2004.
- MILES, M. B. & A. M. HUBERMAN. *Qualitative Data Analysis: An expanded sourcebook*, 2. ed. Beverly Hills, CA: Sage, 1994, 337p.
- NARDI, R. Campo de Força: Subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito. *Pesquisa para o ensino de ciências*, n.5, FEUSP, 1991.
- PARTINGTON, J. R. *A Short History of Chemistry*. Ed. 3. Original London: Macmillan; New York: St Martin's Press, 1957. New York: Dover Publications, Inc., 1989, 415 p.
- _____. *A History of Chemistry*. v. 4. London: Macmillan & CO LTD, New York ST Martin's Press, 1964, 1007 p.
- PORTARIA N. 366, de 31 de Janeiro de 2006. Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil. Edição Número 23 de 01/02/2006. Ministério da Educação. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/port366_pnlem.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2007.
- PRETTO, N. D. L. *A Ciência nos Livros Didáticos*. Campinas: Editora da Unicamp, 1985.
- RYDER, J. & LEACH, J. Interpreting Experimental Data: The views of upper secondary school and university science students. *International Journal of Science Education*, Routledge, v. 22, n. 10, p. 1069-1084, 2000.
- SALES DE ARAUJO, N. R. *Categorias para a Seleção de Experimentos de Química no Ensino Médio: Um estudo comparativo das prioridades dos professores e licenciandos em formação*. Londrina: Ensino de Ciências e Educação Matemática/UEL, 2007. Dissertação de mestrado.
- SÉRÉ, M-G.; JOUNEAUX, R.; LARCHER, C. Learning the Statistical Analysis of Measurements Errors, *International Journal of Science Education*, Routledge, v. 15, n. 4, p. 427-438, 1993.
- SWARTLING, D. J.; MORGAN, C. Lemon Cells Revisited-The Lemon-Powered Calculator. *Journal of Chemical Education*, American Chemical Society, Madison, v. 75, n. 2, p. 181, Fev. 1998.
- WILHELMY, L. F. (1850) *The Law By Which the Action of Acids on Cane Sugar Occurs*. *Annalen der physik und chemie* 81, p. 413-433, 499-526, 1952. De Henry M. Leicester e Herbert. Disponível em: <<http://web.lemoyne.edu/~giunta/paperabc.html>>. Acesso em: jun. 2007.