

A ABORDAGEM PROBABILÍSTICA DA TEORIA CINÉTICA DE COLISÕES EM LIVROS DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO

THE PROBABILISTIC APPROACH OF COLLISION KINETIC THEORY IN HIGH SCHOOL CHEMISTRY TEXTBOOKS

Marcelo Maia Cirino¹
Aguinaldo Robinson de Souza²

¹ Universidade Estadual de Maringá (UEM) / Departamento de Química / mmcirino@uem.br

² Universidade Estadual Paulista (UNESP) / Faculdade de Ciências - Bauru/ arobinso@fc.unesp.br

Resumo

Este trabalho investigou as abordagens e o tratamento didático dispensados ao conteúdo de Cinética Química, em particular da Teoria das Colisões em livros de Química brasileiros destinados ao Ensino Médio, partindo do pressuposto de que o modelo cientificamente aceito se apóia fortemente na compreensão de evento probabilístico. Procuramos, portanto, em nosso estudo, evidências dessa utilização e usamos como referencial teórico a *análise textual discursiva*. Os resultados mostram que a maioria dos livros investigados opta por abordagens que não levam em consideração estes aspectos aleatórios na apresentação e discussão da teoria cinética de colisão de partículas numa reação química.

Palavras chave: Teoria das colisões, probabilidade, cinética química.

Abstract

This paper presents and discusses an analysis of the approaches and the didactic treatment of the kinetic model of collision between particles in chemical reaction (Collision Theory Model) presented by Brazilian chemistry textbooks for the medium level. Our starting point at this search was the correct and scientific model for this theory which is based on random events, but most of all the books investigated does not consider this fact like an important and very precious didactic aspect. We utilized in the investigation the *writing discursive analysis* technique.

Keywords: Collision theory; probability, chemical kinetics.

Introdução

No ensino de Ciências, particularmente no ensino da Química, o professor se depara, frequentemente, com alguns conteúdos que exigem do aprendiz determinadas habilidades e estruturas cognitivas que possam dar conta de elaborar conceitos que dependem da noção de probabilidade. No nível médio, a Química introduz e desenvolve vários desses conceitos que se relacionam parcial ou completamente com a idéia de evento probabilístico: a) o conceito de *mistura* de substâncias no estudo das soluções;

b) o conceito de *emissão e decaimento* radioativos no estudo da radiatividade;

c) a teoria cinética dos gases ideais e o conceito de *caminho livre médio*;

d) os conceitos de *orbital*, de *onda-partícula*, de *salto quântico* e *hibridização* e a interpretação do *princípio da incerteza* na teoria atômica moderna;

e) os conceitos de *colisão efetiva* e *complexo ativado* na teoria cinética das colisões;

f) os conceitos relacionados ao *equilíbrio químico*;

g) os conceitos relacionados à *entropia* e *energia livre de Gibbs*, em especial na formulação da segunda lei da Termodinâmica.

O próprio discurso do professor de química utiliza, com frequência, palavras, expressões ou mesmo terminologias que remetem aos conceitos probabilísticos. Por exemplo, quando se fala em “movimento aleatório” das moléculas, ou “misturas casuais” de soluto e solvente, ou ainda, sobre a “chance” de haver colisões efetivas, relacionada às energias de ativação numa reação.

Como tais conteúdos são de extrema importância no que diz respeito à compreensão dos fenômenos submicroscópicos a que se referem, e, considerando-se ainda que a elaboração de diversos conceitos relacionados a este tema depende de generalizações e da utilização correta da teoria das probabilidades, esta pesquisa investigou aspectos relacionados à abordagem e ao tratamento didático, em livros de Química destinados ao Ensino Médio, com relação à descrição probabilística desses tópicos. Escolhemos a “*Teoria das Colisões*” como tema de investigação por entendermos que a compreensão essencial de sua proposta facilita e de certa forma influencia na elaboração de outros conceitos ligados à “*Cinética Química*”, como “*velocidade de reação*”, “*fatores interferentes na velocidade*”, e “*equilíbrio químico*”.

A importância da Estocástica na educação básica

A verdadeira e principal vocação da escola deveria ser, segundo muitos pesquisadores ligados à área de educação, e, principalmente à área de educação em ciências e matemática, o compromisso com a formação de cidadãos críticos que possam se inserir na realidade sócio-cultural contemporânea. A preparação dessa cidadania visa desenvolver no aluno habilidades para enfrentar desafios impostos por essa sociedade, ao mesmo tempo em que se pretende resgatar valores éticos e morais. Nesse sentido, a aprendizagem da Probabilidade e Estatística pode contribuir, também, no desenvolvimento do espírito crítico, na capacidade de analisar, tomar decisões e interferir no processo. Para Borovcnik e Peard (1996) existem duas razões que legitimam a introdução das probabilidades no currículo escolar em qualquer nível. A primeira, resulta da perspectiva do pensamento probabilístico como um tipo específico de pensamento, tal como o pensamento geométrico e o pensamento algébrico. Face à matemática, as probabilidades constituem uma oportunidade de questionar a dicotomia *verdade* versus *falsidade*, acrescentando às duas a categoria do *possível*. Estes autores destacam ainda a importância do valor *aproximado* em relação ao valor *exato* e destacam a impossibilidade de controlar o resultado de uma única experiência. Este tipo de pensamento pode, sem dúvida alguma, se beneficiar do estudo das probabilidades na escola. Uma segunda razão, deriva da sua utilidade em termos de *aplicações*. Todavia, o âmbito destas *aplicações* deve ser relativizado, conforme os modelos probabilísticos modelam diretamente a realidade ou o fazem através da estatística. No caso dos métodos estatísticos, por se basearem no raciocínio probabilístico, verifica-se que as aplicações das probabilidades são inúmeras na vida social e nas ciências, o que confere às probabilidades uma grande importância. Na visão de outro pesquisador, Rotunno (2002), a Matemática não deve ser apenas determinista. A incerteza, a aleatoriedade e a estimativa são características fundamentais do mundo contemporâneo. O ensino da Probabilidade e Estatística desde o nível fundamental pode propiciar ao aluno condições de conviver com esses aspectos de modo natural. A partir desse pressuposto é evidenciado um movimento, onde a Probabilidade e Estatística tomam espaços cada vez maiores no currículo escolar. O que era voltado apenas para o Ensino Médio, já se mostra necessário desde as séries iniciais. Segundo Lopes (1998, p. 12)

[...] é papel da escola proporcionar ao estudante, desde a educação infantil, a formação de conceitos estatísticos e probabilísticos que o auxiliarão no exercício de sua cidadania. Pois ao cidadão não basta entender as porcentagens expostas em indícios estatísticos, como o crescimento populacional, taxas de inflação, desemprego, entre outras. É preciso que ele saiba analisar, relacionar criticamente os dados apresentados, questionando, ponderando até mesmo sua veracidade.

O principal problema é que a grande maioria de nossas escolas (públicas e principalmente a rede privada) têm, segundo Lopes (1998), reforçado essa visão determinista, levando os alunos a adquirirem a impressão de que cada pergunta tem uma única resposta simples e clara, desconsiderando um possível intermediário entre o verdadeiro e o falso, discutindo uma única solução para cada problema. Godino et al (1996), citando Fischbein (1975), destacam o caráter exclusivamente determinista dos atuais currículos em Ciências e Matemática e a necessidade de se mostrar aos alunos uma imagem mais equilibrada da realidade.

No mundo contemporâneo, a educação científica não pode reduzir-se a uma interpretação unívoca e determinista dos acontecimentos. Uma cultura científica eficiente reclama uma educação no

pensamento estatístico e probabilístico. A intuição probabilística não se desenvolve espontaneamente, exceto dentro de um limite muito estreito. A compreensão, interpretação, avaliação e predição de fenômenos probabilísticos não podem ser confiadas à intuição primária que tem sido tão desprezada, esquecida e abandonada em um estado rudimentar de desenvolvimento. (GODINO et al., 1996, p.12)

Já conforme Trompler (1982), o ensino de Probabilidade e Estatística em ciclos anteriores à graduação é de fundamental relevância porque representa uma maneira de pensar desconhecida em outros ramos da matemática, embora subjacente a todas as ciências experimentais. Confronta o estudante com resultados menos absolutos do que este está acostumado, mostra que ele pode conduzir um rigoroso raciocínio mesmo sabendo que está cometendo erros e o ensina a como enfrentar tais erros. Humaniza a Matemática pela ligação com problemas do cotidiano - já que relaciona ciências experimentais, naturais, econômicas e sociais de todos os tipos - e a utiliza como ferramenta de trabalho (TROMPLER, p. 06, 1982). Os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999), recomendam o trabalho com Estatística e Probabilidade com a finalidade maior de que o estudante construa procedimentos para coletar, organizar, comunicar e interpretar dados, utilizando tabelas, gráficos e representações, e que seja capaz de descrever e interpretar sua realidade, usando conhecimentos matemáticos. Mais especificamente em relação à Probabilidade, consideram que esta pode ajudar na compreensão de grande parte dos acontecimentos da vida cotidiana que são de natureza aleatória, possibilitando a identificação de resultados possíveis desses acontecimentos. Destacam o acaso e a incerteza que se manifestam intuitivamente, portanto cabendo à escola propor situações em que as crianças possam realizar experimentos e fazer observações dos eventos. Os PCNs indicam também que a coleta, a organização e descrição de dados são procedimentos utilizados com muita frequência na resolução de problemas e estimulam as crianças a fazer perguntas, estabelecer relações, construir justificativas e desenvolver o espírito de investigação. Sugerem ainda que, nos dois primeiros ciclos, desenvolvam-se atividades relacionadas a assuntos de interesse dos estudantes, que se proponha observação de conhecimentos, que se promovam situações para se fazer previsões, que algumas noções de probabilidade sejam desenvolvidas. Assim os PCNs justificam o ensino da Probabilidade e da Estatística acenando para a necessidade do indivíduo compreender as informações veiculadas, tomar decisões e fazer previsões que influenciam sua vida pessoal e social. Mas, conforme Lopes e Moran (1999), ao descreverem as noções de estatística, probabilidade e combinatória, não o fazem de forma integrada, podendo deixar ao professor a idéia de compartimentalização desses temas. Ainda segundo estas pesquisadoras, os PCNs ressaltam a necessidade de calcular medidas estatísticas ou probabilísticas, sem se preocupar com a ênfase de que o mais importante é saber o que cada medida significa e não simplesmente efetuar os cálculos. Outra crítica pertinente é que, também nos livros didáticos destinados ao Ensino Fundamental e Médio estes dois temas não se complementam:

[...] o fato é que as atividades propostas nos livros didáticos são permeadas por uma concepção de ensino de estatística e probabilidade bastante compartimentalizada, como se os conceitos estatísticos e probabilísticos não se relacionassem. Essa forma de olhar o ensino desses temas se contrapõe ao trabalho que recomenda o ensino da probabilidade inseparável da estatística, ou seja, da Estocástica. (Lopes e Moran, 1999, p. 170)

A *Estocástica* possibilita a ruptura com uma visão linear de currículo por sua própria natureza interdisciplinar, pois quando se explora uma determinada situação-problema, utilizam-se diferentes conceitos matemáticos e se estabelecem distintas relações, sem ficar preso à limitação do conteúdo proposto para cada série (BATANERO, 2004). Ainda em relação aos livros didáticos, Lopes e Moran (1999), afirmam que a maioria deles, no Ensino Fundamental, ao introduzir o conceito de chance, deixa a linguagem estocástica mais uma vez ausente por não se utilizar da palavra probabilidade. O conceito de Probabilidade quando citado vem, na grande maioria das vezes, em sua definição clássica, "*favoráveis sobre possíveis*", sem menção às restrições de equiprobabilidade, e conjunto finito dos possíveis. A probabilidade de que um aluno tenha massa entre 50 kg e 60 kg, por exemplo, não pode ser calculada, pois o conjunto das

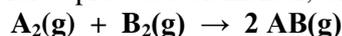
massas possíveis é infinito e não enumerável. Do mesmo modo, a probabilidade de se obter cada uma das faces de uma ficha telefônica ao lançá-la seria obtida como $1/2$ pela aplicação do conceito clássico. Porém a assimetria da ficha (suas faces têm superfícies distintas) não cumpre a restrição de equiprobabilidade. Nos dois casos, conforme Lopes e Moran (1999), a definição frequentista, “*número de ocorrências do evento sobre número total de repetições*”, deveria ser o preferido, pois possibilitaria remover as duas restrições. Os eventos não precisam ser equiprováveis e o espaço amostral não precisa ser finito. Conforme Hurtado e Costa (1999), os livros didáticos deveriam também minimizar a utilização da definição axiomática e propor mais experimentação e observação, evidenciando as idéias probabilísticas. Dessa forma, os conceitos teriam mais significados e poder-se-ia trabalhar com maior profundidade a classificação dos eventos aleatórios: possível, impossível, provável, muito provável, pouco provável e certo (exato). Ainda em relação aos livros, na maioria das vezes, aqueles destinados ao Ensino Médio não abordam os conceitos básicos de amostra probabilística e não-probabilística. Lopes e Moran (1999) reforçam, sobretudo em relação ao Ensino Fundamental, a necessidade urgente de se repensar cuidadosamente o ensino da Estocástica, tanto no que se refere à formação dos professores, quanto da elaboração de melhores livros didáticos e para-didáticos.

O livro didático e sua relevância como ferramenta instrucional

Segundo Lajolo (1996), citado por Sá (2006), os livros didáticos no Brasil são centrais quando se referem à circulação, produção e à apropriação de inúmeros conhecimentos, tendo, portanto, um papel destacado no contexto escolar. Eles são utilizados sistematicamente nas aulas e, muitas vezes, acabam determinando os conteúdos a serem trabalhados nos diversos componentes curriculares (SÁ, 2006). O livro didático tem sido também, ao longo das últimas décadas, considerado o recurso instrucional mais utilizado no processo de ensino-aprendizagem. Para o professor, ele tem sido a ferramenta através da qual se pode selecionar, organizar e desenvolver o conteúdo de um curso, tópico, unidade ou aula (SCHNETZLER, 1980). Para o aluno, a utilização do livro didático tem propiciado a apresentação e revisão da matéria, além de ser a fonte, por excelência, de contato com conteúdos, exercícios, problemas e atividades comumente consideradas nas salas de aulas. Outra razão para a ampla utilização do livro texto diz respeito à busca e formação de novos leitores. Segundo Schnetzler (1980) a cada ano, novos livros são publicados, maiores investimentos são direcionados pelo poder público para a compra e distribuição destes junto às escolas, e mesmo na rede particular de ensino, nos níveis fundamental e médio, sua ascensão é determinante a ponto de produzir uma dependência passiva e, até certo ponto acrítica do professor. Segundo Megid Neto e Fracalanza (2003), programas de melhoria da qualidade do livro didático brasileiro e de distribuição ampla para os estudantes de escolas públicas têm sido uma das principais ações do governo federal e de seu Ministério da Educação desde a década de 30 do século passado. De acordo com esses autores, muitos pesquisadores acadêmicos vêm se dedicando há pelo menos duas décadas a investigar a qualidade das coleções didáticas, denunciando suas deficiências e apontando soluções para a melhoria de sua qualidade. Podemos citar, por exemplo, na área da Química, os trabalhos de Schnetzler (1980, 1981), Mortimer (1988) e Lopes (1990). De acordo com Tiedemann (1998) e particularmente no ensino da Química, fala-se muito na “*abordagem do cotidiano*”, onde se tenta mostrar ao estudante fenômenos químicos que lhe são familiares procurando despertar a sua curiosidade científica. Na prática, ainda segundo este mesmo autor, os conteúdos dos livros de Química apresentam um volume enorme de informações, nem sempre adequadas à idade do aluno e nem sempre respeitando uma seqüência que favoreça a aprendizagem. Essa aprendizagem, contudo, pode ser dificultada pelo uso de metáforas e analogias, com o intuito de efetuar a transposição didática do conhecimento científico, muitas vezes deturpando este último (Lopes, citada por Tiedemann, 1998). Na visão de outros pesquisadores, como Santos e Schnetzler (2003), o estado atual do ensino de Química no Brasil não serve nem para o cidadão, nem para quem vai fazer vestibular, ou seja, tem sido de pouca utilidade, além de não alcançar seus objetivos, já que se limita uma educação científica pura e neutra, desvinculada dos aspectos sociais.

Breve histórico da Teoria das Colisões

Durante a segunda metade do século XIX, o físico escocês James Clerck Maxwell e o físico austríaco Ludwig Boltzmann desenvolveram, independentemente, a relação que descreve a distribuição de velocidades e energias moleculares de um gás. A teoria das colisões considera todos os fatores, num nível atômico-molecular, que podem influenciar na velocidade de uma reação. As considerações matemáticas a seguir, foram extraídas de Russel (1994), Kotz e Treichel (1998) e Masterton, Slowinski e Stanitski (1990). Para que não façamos grandes exercícios de cálculo e álgebra, vamos considerar o processo elementar, bimolecular, em fase gasosa:



Para ocorrer reação, uma molécula A_2 deve colidir com uma molécula B_2 . Assim, conclui-se que a velocidade da reação depende da frequência de colisões “Z” (número de colisões por segundo) entre as moléculas A_2 e B_2 . Como a velocidade deve ser o dobro se A_2 e B_2 colidirem em número duas vezes maior por unidade de tempo, pode-se afirmar que a velocidade da reação é diretamente proporcional¹ à “Z”, ou:

$$\text{Velocidade} \propto Z \quad (1)$$

Por outro lado, a frequência de colisões depende das concentrações de A_2 e B_2 . Se dobrarmos a concentração de moléculas de A_2 , dobrará a probabilidade de ocorrerem colisões entre A_2 e B_2 , ou seja, dobrará a frequência de colisões. O mesmo raciocínio é aplicado quando se dobra a concentração de moléculas de B_2 , e, portanto, a frequência de colisões “Z” é proporcional as concentrações de A_2 e B_2 . Ou, como representado a seguir: $Z \propto [A_2]$ e $Z \propto [B_2]$

Portanto, concluímos que: $Z \propto [A_2] [B_2]$ (2)

Reescrevendo como uma igualdade, obtêm-se: $Z = Z_0 [A_2] [B_2]$ (3)

Onde a constante de proporcionalidade, Z_0 , representa a frequência de colisões, quando $[A_2] = [B_2] = 1$. Substituindo a equação (1), na equação (2), temos que:

$$\text{Velocidade} \propto Z_0 [A_2] [B_2] \quad (4)$$

De que outros fatores depende a velocidade? Que outros termos poderiam ser incluídos nessa proporcionalidade, além da frequência de colisões? Imagine-se que uma única molécula A_2 colida com uma única molécula B_2 . Para que esta colisão produza moléculas AB, a colisão deve ocorrer com energia suficiente para romper as ligações $A-A$ e $B-B$, de modo que as ligações $A-B$ possam ser formadas. Desse modo, as moléculas que colidem devem ter um valor de energia mínima, denominada energia de ativação (E_a) para que as colisões sejam efetivas na formação do produto². Utilizando as equações de Maxwell-Boltzmann, é possível mostrar que, para um grande conjunto de moléculas reagentes, a fração de moléculas que possuem energia pelo menos igual à energia de ativação molar, E_a , é dada por: $e^{-E_a/RT}$ (5)

onde “e” é a base dos logaritmos naturais, uma constante igual à 2,71828, “R” é a constante dos gases ideais e “T” é a temperatura termodinâmica (em kelvin). De acordo com a teoria das colisões, a frequência de colisões moleculares³ efetivas (bem sucedidas), isto é, colisões que conduzem à formação de produtos, é proporcional à fração das colisões com energias iguais ou excedentes à energia de ativação. Em outras palavras: $\text{velocidade} \propto e^{-E_a/RT}$ (6)

Embora não incluído na versão original da teoria das colisões, deve-se considerar mais um fator. Não é suficiente que uma molécula A_2 colida com uma molécula B_2 e nem mesmo basta que elas tenham a energia de ativação necessária, antes da colisão. Não ocorrerá reação química alguma se a orientação relativa das moléculas no instante da colisão não for favorável à ruptura das ligações em ambas e à formação de ligações $A-B$. Este efeito, chamado de “efeito estérico” (ou efeito de orientação ou ainda geometria de colisão), limita as colisões bem sucedidas àquelas cujas moléculas estão com orientação apropriada. O fator estérico “p”,

¹ Utilizamos neste trabalho a letra alfa (α), do alfabeto grego, para representar a proporcionalidade entre as grandezas indicadas. [Nota dos autores]

² Uma colisão suave, ou de “raspão”, não distorce a nuvem eletrônica das moléculas a ponto de quebrar suas ligações, de acordo com Russel (1994).

³ Na verdade essas colisões podem envolver quaisquer tipos de partículas: átomos, moléculas ou íons.

também chamado “fator de probabilidade”, é a fração de colisões nas quais as moléculas estão favoravelmente orientadas à reação (estes fatores estéricos podem ser determinados experimentalmente e “p” é um número entre *zero* e *um*, sendo que para a grande maioria das reações assume um valor muito baixo). Portanto, de acordo com a Teoria das Colisões, a velocidade de uma reação é igual ao produto de três fatores:

I) A frequência de colisões “Z”.

II) A fração de colisões, $e^{-E_a/RT}$, bem sucedidas (efetivas) na produção de reações.

III) O fator estérico “p” (também chamado de fator de probabilidade).

Combinando estes três fatores numa única relação matemática, temos que:

$$\text{Velocidade} = p (e^{-E_a/RT}) Z \quad (7)$$

E substituindo a equação (3) em Z, obtêm-se: $\text{Velocidade} = p (e^{-E_a/RT}) Z_0 [A_2] [B_2]$ (8)

Observando que, para um processo bimolecular numa dada temperatura, todos os termos que precedem a $[A_2] [B_2]$ na equação (8) são constantes e, portanto, pode-se reuni-los, todos, sob uma única constante “k”:

$$\text{Velocidade} = k [A_2] [B_2] \quad (9)$$

Que é a equação de velocidade para o processo bimolecular, citado no início dessas considerações:



Conforme veremos no desenvolvimento deste trabalho, a transposição didática desta Teoria das Colisões para os livros de Química e para situações de sala de aula, segue uma certa seqüência, que passa pela representação matemática da velocidade de uma reação (gráfica e algebricamente), pelo cálculo das velocidades médias e pela utilização da Lei da velocidade expressa pela equação (9). Na maioria das vezes, como destacamos na análise a seguir, os textos não se referem aos termos probabilísticos ou à noção de casualidade na *freqüência das colisões*, na fração de *colisões efetivas* e tampouco levam em consideração o fato do *fator estérico* (p) apresentar um componente estatístico, de tal maneira que acabam por não auxiliar o aluno na apropriação de informações mais completas acerca do modelo cinético cientificamente aceito.

As abordagens utilizadas nos capítulos sobre a Teoria das Colisões nos livros de Química

Com relação ao conteúdo específico de *Cinética Química*, a maioria dos livros investigados traz esse tópico no volume *dois* das coleções (que normalmente têm três volumes), ou seja, no volume utilizado no segundo ano do Ensino Médio. Por outro lado, em algumas escolas da rede pública, que também fazem uso de livros-texto de química, este assunto faz parte da programação curricular do terceiro ano (nesse caso normalmente são adotados livros que abrangem todo conteúdo de química do Ensino Médio num único volume). De qualquer modo, quando se trata de apresentar a *Cinética Química*, os livros e autores citados a seguir, oferecem um tratamento amplo e bem detalhado, mas nem sempre com abordagens que se relacionam com elementos da teoria das probabilidades. Com maior freqüência, o que se pode constatar, é que quase todos trazem, nos capítulos destinados ao estudo da *Cinética Química*, apresentação e abordagens muito semelhantes. Exemplo disso é o detalhamento sobre os requisitos necessários para que uma reação química tenha condições de ocorrer, segundo a maioria dos livros investigados:

a) afinidade química entre as partículas reagentes;

b) contato físico entre as mesmas;

c) as partículas (moléculas, íons, átomos) devem colidir entre si;

d) a colisão entre as partículas dos reagentes deve ocorrer numa orientação favorável e com energia suficiente para romper as ligações existentes nos reagentes, ou seja, deve ocorrer com uma energia igual ou superior à da energia de ativação.

No caso de colisão favorável e formação do complexo ativado, a maioria dos livros investigados traz, normalmente, um ou mais diagramas conforme ilustra a **figura 01**, a seguir:

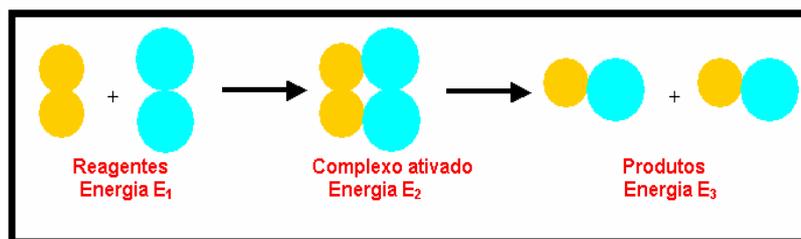


Figura 01. Representação para uma “Colisão Efetiva”

Na figura 01 tem-se uma colisão efetiva, ou seja, que resulta em produto(s). Caso a colisão não ocorra com a orientação espacial favorável, ou sem a energia de ativação necessária, tem-se uma colisão não-efetiva, que não resulta na formação do(s) produto(s) da reação, como representado na **figura 02**, a seguir:

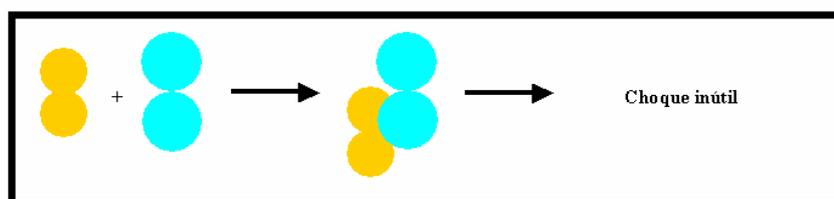


Figura 02. Representação para uma Colisão “Não-efetiva”

De qualquer modo, os aspectos probabilísticos das colisões, ou seja, a maneira aleatória pela qual as partículas se movimentam e interagem num processo de reação química, são pouco explorados na maioria dos livros didáticos que investigamos. Outro ponto não explorado em nossa opinião, é a não contextualização do estudo da *Cinética Química* em relação a outros conteúdos de interesse da própria Química, como a *Termodinâmica* por exemplo. Há pouco destaque, nesses livros, sobre a grande diferença entre a cinética e a termodinâmica química: a velocidade de uma reação química depende do mecanismo da reação, enquanto que a quantidade de energia (calor) liberada ou absorvida por uma reação química depende apenas da natureza dos reagentes e dos produtos formados, isto é, independe do mecanismo de como os reagentes se transformaram em produtos.

Metodologia empregada na análise

A escolha dos livros investigados⁴ se deu em função de sua utilização tanto na rede pública como na rede privada de ensino, por figurarem em várias pesquisas na área de ensino de Química (veja, por exemplo, Monteiro e Justi, 2000; Mortimer, 1988; Loguercio et al., 2001; Tiedemann, 1998; Sá, 2006), e por sua grande tiragem e distribuição no Brasil. Como referencial teórico recorreremos à análise textual discursiva, que é uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa que são a “análise de conteúdo” e a “análise de discurso” (MORAES e GALIAZZI, 2007). Segundo estes autores (2007, p. 16):

[...] a análise textual discursiva é descrita como um processo de unitarização em que o texto é separado em unidades de significado. Estas unidades por si mesmas podem gerar um outro conjunto de unidades oriundas da interlocução empírica, da interlocução teórica e das interpretações feitas pelo pesquisador.

Ainda de acordo com estes autores, depois desta unitarização, que precisa ser feita com intensidade e profundidade, passa-se a fazer a articulação dos significados semelhantes num processo denominado categorização. Na categorização são reunidas as unidades de significado semelhantes, gerando assim categorias mais amplas de análise. A análise textual discursiva mais

⁴ A relação completa dos livros investigados encontra-se no final deste trabalho.

do que um conjunto de procedimentos definidos constitui metodologia aberta, caminho para um pensamento investigativo, processo de colocar-se no movimento das verdades, participando de sua reconstrução (idem, 2007). Ela pode ser entendida como um processo de desconstrução, seguida de reconstrução, de um conjunto de materiais lingüísticos e discursivos, produzindo-se a partir daí novos entendimentos sobre os fenômenos e discursos investigados. Uma análise textual envolve identificar e isolar enunciados dos materiais submetidos à análise, categorizar esses enunciados e produzir textos, integrando nestes, descrição e interpretação, e utilizando como base de sua elaboração o sistema de categorias construído (MOAES e GALIAZZI, 2007). Desta forma, como seu próprio nome indica, a análise textual trabalha com textos ou amostras de discursos, e esses materiais submetidos à análise podem ter muitas e diferentes origens: entrevistas, registros de observações, depoimentos feitos por escrito por participantes, gravações de aulas, de discussões de grupos, de diálogos de diferentes interlocutores, etc. (idem, 2007). Mostramos a seguir, trechos destacados de cada capítulo, relacionados fenomenologicamente à nossa investigação. A partir da seleção desses trechos foi possível então, elaborar a unitarização e posterior desconstrução dos mesmos, reconstruindo-os com o propósito de constituir as categorias. Segundo Moraes e Galiuzzi (2007), na definição do nível de recorte (unitarização) o pesquisador pode basear-se em diferentes critérios, mas o de maior importância, contudo, será sempre a pertinência e adequação ao fenômeno sob investigação. A categorização pode também se concretizar em uma diversidade de métodos e técnicas. Dois de seus extremos, segundo Lincoln e Guba (1985), constituem os pólos explicativo-verificatório e compreensivo-construtivo. O primeiro tem bases na dedução, enquanto o segundo é de natureza indutiva. Optamos pelo segundo, ancorado na indução analítica e que corresponde a processos construtivos e emergentes de categorização (as categorias não foram construídas “*a priori*”).

Análise do capítulo sobre Cinética Química

Em Tito e Canto (2003), volume 02, não há propriamente uma abordagem “probabilística” acerca do conteúdo de cinética. Ao final do capítulo, num dos boxes que complementam as explicações do texto há uma ilustração mostrando um salão de baile com pessoas dançando (homens e mulheres) e o texto afirma:

Quanto maior a concentração de homens e/ou de mulheres, maior a probabilidade de haver colisão entre um homem e uma mulher, durante a dança. Homens e mulheres representam as moléculas de A e B, na reação $A + B \rightarrow \text{produtos}$. (TITO e CANTO, 2003, v. 02, p. 192)

Numa outra parte do capítulo, onde se discute o modelo cinético para as reações elementares, pode-se ler:

Quanto maior for a concentração de A (reagente) maior será a *probabilidade* de haver as colisões necessárias [...] no caso de uma reação elementar, como por exemplo $A + B + C \rightarrow \text{produtos}$, a velocidade da reação depende da *probabilidade* de ocorrer colisão simultânea entre uma molécula de A, uma de B, e uma de C. (idem, p. 192)

Percebe-se então, embora de maneira tímida, a intenção dos autores em transmitir ao leitor a idéia de evento probabilístico na elaboração do modelo de colisão de partículas nas reações, ou seja, que as mesmas ocorrem ao acaso. Em Covre (2000), não há menção de que os choques sejam aleatórios durante o desenvolvimento do assunto (e nem mesmo nos exemplos tomados), porém ao indicar as condições que interferem na velocidade das reações, os itens “pressão”, “existência de solução” e “concentração dos reagentes”, trazem, respectivamente:

[...] para gases, quanto maior a pressão, menor a distância entre as partículas, maior a *probabilidade* de choque e, portanto, maior a velocidade da reação [...] ao dissolver os reagentes num solvente, as partículas distribuem-se por um volume maior que o seu próprio, aumenta a *probabilidade* de choques e, portanto, aumenta a velocidade da reação [...] quanto mais concentrada for a solução, maior o número de moléculas por unidade de volume, maior a *probabilidade* de choque e, portanto, maior a velocidade da reação. (COVRE, 2000, v. 02, p.182)

Observa-se neste autor, embora sem muito destaque, a preocupação em apontar o processo aleatório das colisões de partículas para os leitores. Convém registrar, entretanto, que dois dos fragmentos do texto, extraídos como exemplos, contêm erros conceituais:

a) “...quanto maior a pressão, menor a distância entre as partículas...” não corresponde à interpretação correta que se faz para um aumento de pressão sobre um sistema gasoso. Faltou esclarecer que apenas nos casos em que o aumento da pressão (à temperatura constante) é acompanhado da redução de volume, o caminho livre médio das partículas poderá diminuir (pois o espaço disponível diminui), aumentando a probabilidade de choque entre as mesmas.

b) “...ao dissolver os reagentes num solvente, as partículas distribuem-se por um volume maior que o seu próprio...”, faz menção à dissolução de sólidos num solvente líquido, mas faltou esclarecer a que “volume maior” o autor se refere, pois naturalmente a difusão das partículas de soluto no solvente, por si só já é aleatória. Já em Fonseca (2001), somente quando da abordagem dos fatores interferentes na velocidade das reações, mais especificamente da “influência da concentração”, é que se lê:

[...] Quanto maior o número de partículas de reagentes por unidade de volume, isto é, quanto maior a concentração, maior será a probabilidade de haver colisão efetiva entre essas partículas. Conseqüentemente maior será a velocidade da reação [...] (FONSECA, 2001, v. 02, p. 254)

Esta autora, portanto, não prioriza nem mesmo em posições de menor destaque dentro do capítulo dedicado à *Cinética Química*, os termos que poderiam fazer o estudante refletir sobre a aleatoriedade das colisões. Assim também ocorre em Lembo (1999), onde o aspecto probabilístico das colisões só é revelado quando da introdução dos fatores que influenciam a velocidade das reações. No item “superfície de contato”, aparece:

[...] no comprimido pulverizado (referindo-se à foto acima do texto em que dois copos com água aparecem, num deles um comprimido de antiácido despejado na forma triturada) os grãos oferecem maior superfície de contato para a água. Isso aumenta a *probabilidade* de colisões favoráveis, e a reação fica mais rápida [...] (LEMBO, 1999, v. 02, p. 155)

Ainda neste capítulo o autor cita a casualidade das colisões novamente, quando outro fator interferente da velocidade das reações é investigado, a “influência da concentração”:

“O aumento da concentração dos reagentes é um desses fatores. De um modo geral, quanto maior a concentração dos reagentes, maior será a probabilidade de ocorrerem colisões favoráveis” (idem, p. 166)

Logo, podemos confirmar que mesmo de maneira superficial e breve, a expressão *probabilidade* também aparece na descrição desse autor. Santos et al. (2005), sugerem, no capítulo dedicado à *Cinética Química*, que a expressão “velocidade de reação” seja substituída por “rapidez da reação”, uma vez que, segundo estes autores:

“[...] considerando que o conceito de velocidade é definido como a variação de espaço por unidade de tempo, preferimos adotar aqui a denominação rapidez, como já vem sendo recomendado em outros livros.” (SANTOS et al., p. 391, 2005)

Com relação à Teoria das Colisões, estes autores, como a maioria dos autores investigados, introduzem a expressão *probabilidade* apenas ao investigar os fatores interferentes na velocidade das reações:

“[...] em termos de uma reação química, quanto maior o número de partículas dos reagentes, maior a probabilidade de choques entre elas e, conseqüentemente, mais rápida será a reação” (idem, p. 397, volume único)

Novais (1993), é quem mais se aproxima de uma abordagem baseada na ocorrência de evento probabilístico ao discutir em detalhes e relacionar os conceitos de colisão eficaz e choques aleatórios:

“No caso da reação de CO e NO₂, quanto maior o número de moléculas de CO por unidade de volume (concentração), maior a probabilidade de choques casuais com certo número de moléculas de NO.” (NOVAIS, v. 02, 1993, p.183)

No início do capítulo do livro desta autora há uma ilustração mostrando uma mesa de bilhar. As bolas do jogo surgem em dois momentos: num deles há apenas duas bolas (uma vermelha e outra preta), noutro existem diversas bolas (dez vermelhas e uma preta). No texto das figuras, tem-se que:

Imagine uma mesa de bilhar. Suponha que duas bolas, uma preta e uma vermelha, estejam sobre a mesa. Suponha agora que uma bola preta e dez vermelhas estejam sobre o feltro. Em qual das duas situações será mais fácil provocar o choque de uma bola preta com uma vermelha? Evidentemente, na segunda situação, em que o número de bolas vermelhas é maior, o que aumenta a *probabilidade* de choques. (idem, p. 182)

Dentre as obras investigadas, esta é a que mais informa e a que mais argumenta em seu texto sobre as implicações e conseqüências das colisões ocorrerem aleatoriamente. Em outros autores, como Feltre (2005), Sardella (2005), Usberco e Salvador (2002), Utimura e Linguanoto (1998), Bianchi et al. (2005) e Carvalho e Souza (2003), todos eles apresentados em volume único, não há menção sobre casualidade ou evento probabilístico relacionado às colisões no capítulo dedicado à *Cinética Química*. O mesmo ocorre em Silva et al. (2001), em seu volume 02, onde não estão presentes os indicativos que sugerem eventos aleatórios para as colisões entre as partículas dos reagentes ou as correlações existentes entre elas.

Resultados

Com relação ao total de livros investigados (13 títulos), desenvolvemos três categorias, elaboradas a partir da leitura e da análise textual dos capítulos sobre Cinética Química, além da interpretação estatística da utilização da linguagem, na forma de exemplos ou palavras/verbetes/ilustrações, que remetem à idéia de evento probabilístico: **1)** a dos livros que não fazem referência ao fato das colisões inter-partículas serem aleatórias (*sete* deles ou 53,8%); **2)** aquela em que os autores o fazem de maneira apenas parcial (*quatro* títulos ou 30,7%); **3)** a categoria dos que discutem com maior profundidade a correlação entre a teoria das probabilidades e o modelo proposto pela Química para explicar os choques entre as partículas dos reagentes numa reação química (apenas *dois* livros ou 15,4%). Essas categorias podem ser visualizadas de modo mais claro na **Tabela 01**, apresentada mais adiante, na primeira coluna da esquerda (*Destaca aspectos “probabilísticos” na Teoria Cinética de Colisões*). Para construir essas categorias, levamos em consideração as propostas de ensino subjacentes a cada capítulo nos livros investigados, principalmente no que se refere ao processo de mediação didática. Ao retirarem os conceitos científicos do contexto histórico de sua produção e limitá-los a definições restritas, os livros geram obstáculos à compreensão desses mesmos conceitos, segundo Lopes (1990). No caso da abordagem probabilística quando se introduz a idéia de colisão entre partículas numa reação, a omissão da evolução histórica do conceito pode certamente induzir o estudante ao erro pelo fato de não explicitar o processo de construção e aplicação históricas do mesmo. Faz toda a diferença o sentido das palavras utilizadas quando intencionalmente se omite a natureza caótica e não-determinística das colisões em qualquer reação química. Por isso apresentamos também na **Tabela 01** uma coluna que contabiliza as palavras/verbetes/ilustrações relacionadas à idéia de “probabilidade” e uma terceira coluna que mostra a quantidade de exemplos e analogias que remetem à noção de “evento probabilístico” ao longo da apresentação dos conteúdos. Todos os dados apresentados na **Tabela 01** se referem exclusivamente ao capítulo investigado (Cinética Química). Esse trabalho, que não se encerra nas discussões desse artigo, mas tem aqui seu início, evidencia nossa preocupação com a abordagem utilizada nos livros didáticos brasileiros, no capítulo sobre Cinética Química e destaca o pouco (em alguns casos nenhum) cuidado com o tratamento matemático probabilístico relacionado ao modelo de colisão de partículas nas reações químicas ensinado aos leitores/estudantes. Os modelos cinéticos utilizados nos livros, para a descrição das reações, são significativos, pois permitem descrever qualitativa e quantitativamente os processos de combinações e rearranjos dos átomos nas transformações químicas. Porém os detalhamentos acerca das velocidades de reações e sobre a descrição teórica e molecular das reações químicas parecem estar fragmentados quando se trata do ensino no nível médio, fazendo parte de um conjunto de conhecimentos empíricos de situações específicas, pois com relação aos conteúdos pesquisados, predominam abordagens

qualitativas das velocidades das reações, levando em consideração os fatores que as influenciam. Essas abordagens são realizadas apenas com dados experimentais, passando a impressão de algo puramente empírico que não pode ser modelado teoricamente (e aí nos parece ocorrer a falha maior, pois um modelo de colisões de natureza aleatória não pode ser contemplado nestas condições). Assim fica bastante evidente, através da análise textual, que os livros investigados não procuram trabalhar com o ensino de Cinética explorando a evolução histórica e a atualização dos conceitos, com uma aproximação de abordagem probabilística e com uma transparente contextualização dos conteúdos transmitidos. Em nossa opinião a transposição didática torna-se uma ferramenta importante nestes casos, criando pontes entre o conhecimento produzido na academia e a sua transformação em conhecimento escolar, adaptado para o Ensino Médio. Outro aspecto a ser destacado em nossa análise, e que surgiu durante a elaboração das categorias, foi a valorização excessiva do conteúdo e do conhecimento químico relacionados aos interesses editoriais visando o concurso vestibular e alguma alusão ao cotidiano dos alunos. Conforme Loguercio et al. (2001), os livros de Química destinados ao Ensino Médio brasileiros apresentam, em sua grande maioria, obstáculos epistemológicos ao aprendizado do conhecimento químico. Principalmente por não perceberem a importância e o alcance da discussão sobre o não visível, trabalhando com uma ciência de modelos e teorias muito diferente entre os universos microscópico e macroscópico. No caso do tratamento matemático inadequado, com respeito à Teoria das Colisões, é necessária investigação mais rigorosa para se afirmar que o fato em si constitui mais um obstáculo ao aprendizado do conhecimento químico cientificamente validado. Os resultados desse levantamento implicam, necessariamente, numa crítica aos livros que não priorizam uma abordagem probabilística? Ou, em outras palavras, será que melhores resultados na aprendizagem e elaboração do modelo cinético de colisão de partículas em reações químicas têm relação com uma abordagem estocástica? Fica aqui a sugestão para futuros trabalhos de investigação na área de ensino de Química. Em nossa opinião, a utilização de elementos probabilísticos na interpretação/elaboração do modelo de colisões entre partículas pode contribuir, de maneira significativa, para que o estudante se aproprie corretamente dos conceitos ligados a este conteúdo.

Livros didáticos de Química investigados na pesquisa

Editora Moderna

- 1) CANTO, E. L.; PERUZZO, F. M (TITO) *Química na abordagem do cotidiano*. São Paulo: Moderna, v. 02, 2003.
- 2) FELTRE, R. *Fundamentos da Química*. São Paulo: Moderna, vol. único, 2005.

Editora Ática

- 3) SARDELLA, A. *Química*. São Paulo: Ática, vol. único, 2005.
- 4) LEMBO, A. *Química, realidade e contexto*. São Paulo: Ática, v. 02, 1999.
- 5) SILVA, E. R.; NÓBREGA, O. S.; SILVA, R. H. *Química, transformações e energia*. São Paulo: Ática, v. 02, 2001.

Editora FTD

- 6) UTIMURA, T. Y.; LINGUANOTO, M. *Química Fundamental*, São Paulo: FTD, volume único, 1998.
- 7) BIANCHI, J. C. A.; ALBRECHT, C. H.; DAL TAMIR, J. M. *Universo da Química*, São Paulo: FTD, vol. único, 2005.
- 8) COVRE, G. J. *Química, o homem e a natureza*. São Paulo: FTD, v. 02, 2000.
- 9) FONSECA, M. R. M. *Completamente Química*. São Paulo: FTD, v. 02, 2001

Editora Scipione

- 10) CARVALHO, G. C.; de SOUZA, C. L. *Química: de olho no mundo do trabalho*. São Paulo: Scipione, vol. único, 2003.

Editora Saraiva

- 11) USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química*, São Paulo: Saraiva, vol. único, 2002.

Editora Atual

- 12) NOVAIS, V. L. D. *Química*. São Paulo: Atual, v. 02, 1993.

Editora Nova Geração

- 13) SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. *Química e sociedade*. São Paulo: Nova Geração, vol. único, 2005.

Tabela 01

AUTOR(ES)	ANO DA EDIÇÃO	Destaca aspectos “probabilísticos” na Teoria Cinética de Colisões	N.º de verbetes ou palavras que remetem à idéia de “probabilidade”	N.º de exemplos ou analogias baseados em “evento probabilístico”
Tito & Canto	2003	PARCIALMENTE	03	01
Covre	2000	SIM	07	01
Fonseca	2001	NÃO	zero	zero
Lembo	1999	NÃO	zero	zero
Santos et al.	2005	PARCIALMENTE	02	zero
Novais	1993	SIM	06	04
Feltre	2005	NÃO	zero	zero
Sardella	2005	NÃO	zero	01
Usberco & Salvador	2002	NÃO	zero	zero
Utimura & Linguanoto	1998	PARCIALMENTE	02	01
Bianchi et al.	2005	NÃO	01	zero
Carvalho & Souza	2003	PARCIALMENTE	02	02
Silva et al.	2001	NÃO	zero	zero

Categorização dos livros didáticos de Química para o Ensino Médio em relação à abordagem probabilística no Capítulo dedicado à *Cinética Química*.

Referências

BATANERO, C. Razonamiento probabilístico em la vida cotidiana: um desafio educativo. In: P. Flores y J. Lupiáñez (Eds.), **Investigación en el aula de Matemáticas, Estadística y Azar**. Granada: Sociedad de Educación Matemática Thales. ISBN: 84-688-0573-4, CD ROM, Universidad de Granada: España, 2004.

BOROVCNIK, M.; PEARD, R. Probability. In: A. J. Bishop et al. (eds.), **International Handbook of Mathematics Education**, p. 239-287. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN)**, 1999. <Disponível em: <http://www.mec.gov.br>> Acesso em: 21 out. 2006.

- FISCHBEIN, E. **The intuitive sources of probabilistic thinking in children**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975.
- GODINO, J. D.; BATANERO, M.; CAÑIZARES, M. J. **Azar y Probabilidad**. Madrid: Síntese, 1996.
- HURTADO, N. H.; COSTA, J. F. S. A probabilidade no Ensino Médio: a importância dos jogos como ferramenta didática. **Anais da Conferência Internacional: Experiências e Perspectivas do Ensino da Estatística – Desafios para o século XXI**, Florianópolis, 1999.
- LAILOLO, M. Livro didático: um (quase) manual de usuário. **Em Aberto**, Brasília, ano 16, nº 69, jan/mar, 1996.
- LINCOLN, Y. S.; GUBA, E. G. **Naturalistic Inquiry**. Londres: Sage, 1985.
- LOGUERCIO, R. Q.; SAMRASLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de Química. **Química Nova**, v. 25, n. 04, p. 557-562, 2001.
- LOPES, A. R. C. **Livros Didáticos: Obstáculos ao Aprendizado da Química**, Dissertação de Mestrado, IESAE, Rio de Janeiro, 1990.
- LOPES, C. A. E. **A Probabilidade e a Estatística no Ensino Fundamental: uma análise curricular**. Dissertação de Mestrado. Campinas (SP), Faculdade de Educação/UNICAMP, 1998.
- MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.
- MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 02, p. 48-79, 2000.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Ed. da Unijuí, 2007.
- MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. **Em aberto**, v. 07, n. 40, 1988.
- KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. Jr. **Química & Reações Químicas**. Rio de Janeiro: LTC, v. 02, 1998.
- ROTUNNO, S. A. M. *O estudo da Estatística e Probabilidade nos currículos escolares*. Anais do **VI Encontro Brasileiro de Estudantes de Pós-Graduação em Educação Matemática**, UNICAMP, Campinas, SP: Graf. FE, 2002.
- SÁ, M. B. Z. **O enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade nos textos sobre radiatividade e energia nuclear nos livros didáticos de Química**, dissertação de mestrado, UEM, Maringá, 2006.
- SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. Ensino de Química para a cidadania: Um novo paradigma educacional. In: **Educação em Química**. Ijuí: Unijuí, p. 119-144, 2003.
- SCHNETZLER, R. P. **O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de Química de 1870 a 1976; análise do capítulo de Reações Químicas**, dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, 1990.
- _____. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. **Química Nova**, v. 04, n. 1, p. 6-15, 1981.
- TIEDEMANN, P. W. Conteúdos de Química em livros didáticos de Ciências. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 2, p. 15-22, 1998.
- TROMPLER, S. Statistics and Probability before the age of 15 at Decroly School, **Teaching Statistics**, v. 4, n. 01, p. 5-8, 1982.