

A metodologia de Imre Lakatos aplicada ao desenvolvimento histórico da cinética química e a sua identificação nos livros didáticos

Simone Alves de Assis Martorano *

Maria Eunice Ribeiro Marcondes #

1 INTRODUÇÃO

Atualmente as pesquisas em ensino de ciências, especificamente focadas na história da Química e na filosofia da ciência, têm por objetivo, a partir de análises, proporem abordagens alternativas que contribuem para diminuir as dificuldades que os alunos apresentam na aprendizagem de determinados conceitos químicos.

Wandersee e Griffard (2002) defendem que a história da química pode ajudar os educadores desta área a desenvolver, usar e investigar materiais e estratégias para promover o melhor entendimento, por parte dos alunos, dos conceitos químicos. Para eles o principal objetivo da educação em química é ajudar os estudantes a construir um entendimento significativo da natureza e das transformações da matéria. Sendo assim, o conhecimento de onde estas idéias vêm e como elas foram construídas através do tempo poderão ser úteis aos estudantes na construção desse entendimento. Os estudantes poderão assim, ter a habilidade de conectar os conhecimentos químicos recentemente aprendidos com os seus conhecimentos anteriores e com o conhecimento histórico coletivo da comunidade química global.

Justi e Gilbert (1999) resumiram em quatro argumentos as vantagens de se utilizar a história e a filosofia da ciência no ensino de ciências. Eles são:

- Ensinar os estudantes sobre a natureza da ciência. O ponto principal deste argumento é que a evolução das metodologias científicas tem sido uma das principais realizações culturais da última metade do século passado e, portanto, deveriam fazer parte da educação dos jovens;
- Habilitar os professores a explorarem algum paralelo entre o desenvolvimento histórico da química, e o desenvolvimento do entendimento da química pelos estudantes. Segundo os autores, não há um acordo geral sobre a existência de uma relação entre mudanças na ciência e no entendimento do conteúdo específico;
- Desenvolver nos estudantes a habilidade do pensamento crítico, e
- Ajudar os professores a superarem problemas práticos na produção de metodologias de trabalho que serão utilizados no processo de ensino em sala de aula.

Segundo Moreno *et al.* (2000), a ciência, como toda atividade humana, é histórica, ou seja, é mutante, não só porque está sujeita à dinâmica do tempo, mas também porque, enquanto transcorre, constrói-se, modifica-se, evolui, amplia-se e desenvolve-se. A história, junto com a filosofia da ciência, ocupa-se em estudar essas mudanças, de como se produzem e das conseqüências que geram. Portanto, procuramos neste trabalho verificar se nos livros didáticos está presente essa dinâmica, ou seja, se encontramos, no desenvolvimento do seu conteúdo, as mudanças teóricas, ou seja, a criação, modificação e substituição

* Estudante de doutorado no Curso de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), Avenida Professor Lineu Prestes, 748, São Paulo, Brasil. E-mail: simonemt@iq.usp.br

Pesquisadora do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP), Avenida Professor Lineu Prestes, 748, São Paulo, Brasil. E-mail: mermarco@iq.usp.br

de velhas hipóteses por novas, e também as mudanças que ocorrem nos procedimentos, ou seja, os métodos que caracterizam o trabalho da ciência.

Como objeto de estudo, escolhemos o livro didático porque na química, como em qualquer outra disciplina escolar, o livro didático ainda possui um papel importante na dinâmica do ensino. Embora hoje o aluno possa contar com outros recursos para obter informações sobre a ciência, o livro didático continua tendo um importante papel na transmissão de conhecimentos científicos.

Escolhemos o capítulo cinética química como tema para análise do livro didático, por considerá-lo um conteúdo imprescindível para a formação básica em química do aluno do ensino médio. O conhecimento da cinética química proporciona ao aluno o entendimento da velocidade de uma reação química e dos fatores que a determinam ou a modificam, mas, além disso, leva ao entendimento do mecanismo (ou caminho) de uma reação. Outro ponto é a quase ausência de trabalhos sobre esse tema.

2 MARCO TEÓRICO

Para se entender as mudanças das teorias e dos métodos, utilizados pela comunidade científica, na sua tentativa de entender a velocidade de uma reação química, optamos por realizar uma reconstrução histórica de acordo com as idéias de Imre Lakatos (1998).

As idéias de Lakatos (1998) fazem parte de uma nova corrente filosófica denominada nova filosofia da ciência surgida a partir da metade do século XX, como resultado de várias críticas ao positivismo, visão filosófica até então dominante. De acordo com essa nova filosofia, o que o cientista observa e investiga é uma “construção” da realidade que está em acordo com a sua formação, marco teórico e até valores sociais, por tanto não existem observações neutras. O que é mais interessante na nova filosofia da ciência, segundo Níaz (2001), é o foco orientado para explicar a mudança das teorias, sendo que anteriormente se pretendia sobre tudo justificá-las.

A metodologia dos Programas de Investigação Científica proposta por Lakatos, juntamente com a história do desenvolvimento da ciência, têm sido utilizadas em pesquisas no ensino de Química (Justi, 1997, 1999; Níaz, 1994, 2000 e 2001). Segundo Níaz (2001), essa abordagem provê um instrumento útil para ajudar na reconstrução dos conhecimentos científicos dos estudantes e professores de ciência. O autor defende que a reconstrução histórica de progressos científicos, que conduzem inevitavelmente a controvérsias e debates, pode despertar o interesse dos estudantes e facilitar compreensão de conceitos químicos. Em contraste, currículos de química em geral e livros didáticos não só ignoram o contexto no qual a ciência progride, mas também enfatizam roteiros de aprendizagem e estratégias algorítmicas.

A caracterização do Programa de Investigação Científica é feita pelos seguintes componentes: o “núcleo duro”, o cinturão protetor e uma heurística. Os dois primeiros correspondem ao conjunto de enunciados gerais, são as teorias aceitas na sua época pela comunidade científica. A heurística pode ser negativa ou positiva, conforme representa orientações de pesquisa a evitar ou a prosseguir.

De acordo com Lakatos (1998), esses componentes são assim constituídos:

O *núcleo duro* reúne os pressupostos básicos e essenciais do programa, ou seja, tudo aquilo que é fundamental para a sua existência. O abandono desse núcleo duro é o que causa a mudança de programa. Já o *cinturão protetor* é formado por hipóteses auxiliares que tem como objetivo proteger o núcleo. Segundo Lakatos (1998), é esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem que suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e reajustando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido. A *heurística negativa* é uma regra metodológica que não permite o ataque direto ao núcleo do Programa de Investigação, ao contrário ela redireciona o ataque para o cinturão protetor em torno do núcleo. A *heurística positiva* é formada por um conjunto de idéias e teorias que indicam o caminho a ser seguido no programa de pesquisa.

Lakatos (1998) propõe que somente existem duas classes de programas científicos de investigação, os progressivos e os degenerativos. É a competição entre diferentes programas contemporâneos que faz desenvolver o quadro teórico da explicação científica. O Programa progressivo é aceito pela

comunidade científica, enquanto que o programa degenerativo, segundo Lakatos (1998), cairá em desuso, devido à incapacidade demonstrada em explicar novos fatos, em erguer uma teoria coerente.

2.1 A reconstrução histórica

A metodologia dos programas de investigação científica, segundo Lakatos (1998), constitui, como qualquer outra metodologia, um programa de investigação historiográfico, sendo que o historiador que aceita essa orientação procurará na história programas de investigação rivais, alterações progressivas e degenerativas de problemáticas. Cada reconstrução racional produz um padrão característico do desenvolvimento racional do conhecimento científico, mas às vezes, segundo Lakatos (1998), essas reconstruções *normativas* podem ter necessidade de ser completadas por teorias externas *empíricas* que explicam os fatores residuais não racionais. Mas a reconstrução racional ou história interna é primária, a história externa só tem uma importância secundária. Segundo Lakatos (1998), seja qual for o problema que o historiador da ciência pretende resolver, é necessário, em primeiro lugar, reconstruir a parte concernente ao desenvolvimento do conhecimento científico, ou seja, a história interna.

A reconstrução histórica dos conhecimentos científicos relativos à Cinética Química foi feita a partir de pesquisas de historiadores da ciência, artigos de pesquisadores e artigos originais dos cientistas que estiveram envolvidos no estudo da cinética química. Neste processo de pesquisa elaboramos quatro Programas de Investigação Científica que representam o conhecimento científico sobre a cinética química no período de 1850 até 1935, ano em que foi proposta a teoria do estado de transição.

Um importante problema atual da cinética química é determinar de que modo as velocidades das reações químicas dependem das concentrações das substâncias reagentes. Isto também é importante para se conhecer de que modo as velocidades são afetadas pelos produtos das reações. Um outro problema é analisar o efeito da temperatura na velocidade das reações. Todos esses problemas estão presentes no capítulo de cinética química da maioria dos livros didáticos dirigidos ao ensino médio. Sendo assim, na reconstrução histórica, foram levados em consideração esses aspectos da cinética química.

Os Programas de Investigação Científica foram estruturados da seguinte maneira:

Núcleo duro: modelo teórico que explica a velocidade de uma reação química, considerando-se o entendimento dos aspectos microscópicos da mesma.

Cinturão protetor: dois atributos que influenciam a velocidade de uma reação química, são eles: a concentração das substâncias reagentes e a temperatura.

Heurística positiva: (1) De que modo a velocidade de uma reação química depende das concentrações das substâncias reagentes? e (2) Como a temperatura pode influenciar a velocidade de uma reação química?

Podemos observar no desenvolvimento histórico da cinética química que, em vários momentos com o intuito de resolver algum problema específico, foram propostas pelos cientistas, novas teorias que possuíam um poder explicativo maior que as teorias anteriores, e assim essas novas teorias substituíam as antigas. Portanto, consideramos neste trabalho que um programa de investigação suplanta o anterior, quando apresenta explicações mais amplas sobre as velocidades das reações químicas (núcleo do programa).

Os Programas são descritos a seguir.

PIC-I: Programa de Investigação Científica de Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1867)

Núcleo duro: A reação química é entendida como um processo no qual partículas (reagentes) interagem com outras formando novas substâncias (produtos), e a velocidade de uma reação química é proporcional ao número de partículas que estão reagindo num determinado tempo. Portanto, quanto maior a quantidade de substâncias, maior é a chance de ocorrer interação entre as elas, o que pode acarretar um aumento de velocidade desta reação.

Heurística positiva:

- Efeito da concentração: A velocidade da reação é proporcional ao número de partículas que estão reagindo num dado tempo. Para se calcular a velocidade de uma reação utiliza-se o cálculo diferencial e integral, obtendo-se assim, equações que relacionam a velocidade de uma reação química com a concentração dos seus reagentes.
- Efeito da temperatura: A temperatura pode influir na velocidade de uma reação química, mas não existe um entendimento, em termos microscópicos, de como isto ocorre.

Este programa foi de grande importância na cinética química, pois nele a velocidade de uma reação começou a ser estudada de forma quantitativa com a introdução de equações exponenciais e diferenciais que possibilitavam a determinação da concentração dos reagentes de uma reação química, portanto, esta união da química com a matemática possibilitou aos cientistas realizarem previsões mais precisas das velocidades das reações. Portanto pode-se dizer que neste programa o enfoque dado aos estudos cinéticos era empírico–matemático.

PIC-II: Programa de Investigação Científica de Pfaundler e Van't Hoff (1872-1888)

Núcleo duro: somente as partículas que possuem energia superior à energia crítica podem reagir. A velocidade é, portanto, proporcional ao número de partículas que possuem quantidade de energia superior à energia crítica.

Heurística positiva:

- Efeito da concentração: A análise dos dados experimentais cinéticos e a determinação da ordem de uma reação química passam a ser feita pelo método diferencial. Portanto, nessa época já se tinha o conhecimento de que uma reação poderia ocorrer em mais de uma etapa, embora o conhecimento do mecanismo de reações só pode ser obtido com as modernas técnicas experimentais que surgiram muito tempo depois (década de 60, século XX). Na equação utilizada por Van't Hoff, para determinar a velocidade de uma reação química entra um novo fator, que é a energia. Portanto, a velocidade da reação depende da concentração das partículas que possuem um valor mínimo de energia para que possam reagir, denominada de energia crítica.
- Efeito da temperatura: Um aumento de temperatura causa um aumento do número de partículas com energia suficiente para participarem da reação química.

Contudo, os químicos levando em consideração a concentração e a temperatura, na determinação da lei de velocidade de uma reação, perceberam que o valor calculado era muito maior que o valor determinado experimentalmente, portanto, deveriam existir outros fatores que estariam influenciando a velocidade de uma reação química. Esse problema só foi resolvido posteriormente, no próximo programa.

PIC-III: Programa de Investigação Científica de Trautz -Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918)

Núcleo duro: a velocidade de uma reação química depende do número de colisões por segundo que acontecem entre as moléculas ativas das substâncias participantes da reação, mas, se duas moléculas estão reagindo, elas não tem que meramente colidir com energia mútua suficiente, elas devem vir juntas com uma mútua orientação que é necessária para quebrar e formar ligações.

Heurística positiva:

- Efeito da concentração: A concentração influi na velocidade, mas entende-se agora que somente as partículas que possuem uma determinada quantidade de energia, e uma orientação apropriada, conseguem reagir, portanto, a velocidade de uma reação depende agora desses fatores. Outras modificações neste programa foram: a introdução do termo ordem de uma reação, a introdução do método de isolamento, e da idéia de *meia vida* de um reagente.

- Efeito da temperatura: Um mínimo de energia é necessário para a ocorrência de uma reação está associado com uma “barreira de energia” (E_a , energia de ativação) para aquela reação. Portanto, pode-se entender que um aumento de temperatura aumenta o número de moléculas com energia necessária para transpor essa barreira de energia.

Até meados de 1930 importantes trabalhos experimentais em cinética foram realizados com base na interpretação da teoria da colisão, resultando em conclusões de considerável significância, mas estas interpretações, segundo Laidler (1993), foram sendo modificadas através de teorias mais sofisticadas, já que a teoria da colisão não conseguia explicar o comportamento de moléculas mais complexas.

PIC-IV: Programa de Investigação Científica de Eyring, Polanyi, Evans e Tolman, (1920-1935)

Núcleo duro: a velocidade de uma reação química pode ser calculada focalizando-se a atenção no complexo ativado. O complexo ativado de uma reação é a configuração onde o ponto de energia potencial é o mais alto, no qual as moléculas chegam a um grau de proximidade e distorção tais que qualquer distorção adicional as leva em direção aos produtos (Teoria do Estado de Transição). A velocidade de uma reação é então determinada pela seguinte relação:

Velocidade = (concentração do complexo ativado) * (frequência de decomposição do complexo ativado)

Heurística positiva:

- Efeito da concentração: Uso da superfície de energia potencial para calcular a concentração dos reagentes. O complexo ativado é considerado como estando em um estado de quase-equilíbrio com os reagentes, de forma que suas concentrações podem ser calculadas. A velocidade da reação é proporcional à concentração do complexo ativado
- Efeito da temperatura: A energia de ativação adquire um novo significado. Ela agora está relacionada não mais a uma barreira de energia, mas sim a formação do complexo ativado. Quanto menor for a energia de ativação do complexo ativado, maior será a velocidade da reação.

3 METODOLOGIA

3.1 Escolha dos livros didáticos

Os livros didáticos analisados foram obtidos de sebos, bibliotecas, mas principalmente os mais antigos vieram da biblioteca da Faculdade de Educação, da Universidade de São Paulo, da seção de livros didáticos antigos. Analisamos neste trabalho 20 livros didáticos, que são dirigidos ao Ensino Médio (tabela 1).

Os livros foram agrupados em cinco períodos de tempo, que correspondem aos períodos de vigência das reformas educacionais, propostas pelo governo do Brasil para o ensino médio, apenas com o objetivo de facilitar a análise.

3.2 A análise dos livros didáticos

Para realizar a análise utilizamos os quatro Programas de Investigação Científica, elaborados através da reconstrução histórica do desenvolvimento da cinética química, com o objetivo de evidenciar os níveis de explicação teórica atingidos em vinte livros didáticos.

Assim, uma primeira tentativa de se explicar a velocidade das reações químicas (interação entre as substâncias que estão reagindo) seria fornecida pelo programa de Investigação Científica de Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1865), a segunda explicação teórica, mais ampla envolvendo o conceito de energia crítica, para explicar a velocidade além dessa interação entre as partículas, já faz parte do Programa de Investigação Científica de Pfaundler e Van't Hoff (1872-1888), uma terceira explicação teórica que inclui, além das condições do segundo modelo para que uma reação ocorra, a necessidade de uma certa frequência e orientação espacial nas colisões entre as partículas, sendo

representada pelo Programa de Investigação Científica de Trautz-Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918) e finalmente uma explicação mais atualizada que inclui o conceito de complexo ativado, sendo fornecida pelo Programa de Investigação Científica de Tolman, Eyring, Polanyi, e Evans (1920-1935).

Período	No.	Nome do livro	Nome(s) do(s) autor (es)	Ano de Edição
Primeiro (1929–1941)	1	Noções Succintas de Chimica Philosophica	Dr. Oliveira de Menezes	1929
	2	Apontamentos de Chimica Geral	Miguel Tenório D’Albuquerque	1931
	3	Curso Geral de Química	Pe. Ignácio Puig S. J.	1932
Segundo (1942-1960)	4	Química. 3º. Volume	Carlos Costa e Carlos Pasquale	1942
	5	Química - 3º Livro -Ciclo Colegial	Paulo Décourt	1946
	6	Química para o terceiro ano colegial (curso científico)	Geraldo Camargo de Carvalho, Waldemar Saffioti	1954
	7	Química. Primeira Série. Curso Colegial	Luciano Francisco Pacheco do Amaral	1955
	8	Química. Terceira Série	Luciano Francisco Pacheco do Amaral	1959
Terceiro (1961-1970)	9	Química. Terceira Série. Curso Colegial	Irmão Firmino Bonato	1966
	10	Química. Uma ciência experimental. Volume 1	Chemical Education Material Study.	1967
	11	Físico - química. Volume 3	Ricardo Feltre, Setsuo Yoshinaga;	1968
Quarto (1971-1995)	12	Química. Segundo grau. Volume 2	Ricardo Feltre	1976
	13	Química dos experimentos as teorias. Volume 2	Yvone Mussa Esperidião, Náides de Cerqueira e Silva Alves de Lima	1977
	14	Química Fundamental. Volume 2	Antonio Sardella e Edegar Mateus	1979
	15	Química Moderna. Terceiro Volume	Geraldo Camargo de Carvalho	1980
	16	Química 2. Consolidação de conceitos fundamentais	Otávio Aloísio Maldaner, Rui Zambiasi	1993
Quinto (1996 -2004)	17	Química 2	Vera Novais	1999
	18	Química - Ensino Médio. Interações e Transformações II	GEPEQ	2001
	19	Química. Volume Único para o Ensino Médio	Geraldo Camargo de Carvalho, Celso Lopes de Souza.	2003
	20	Química. Físico-Química	Ricardo Feltre	2004

Tabela 1. Relação dos livros didáticos brasileiros analisados.

Uma importante observação deve ser feita em relação à escolha do modelo teórico para explicar o efeito da concentração na velocidade de uma reação. Consideramos neste trabalho que, se o autor do livro didático usar a Lei de Guldberg-Waage para relacionar a velocidade de uma reação química com a concentração das substâncias reagentes, não se pode utilizar os Programas de Investigação Científica para identificar esta explicação. Os estudos de Guldberg e Waage tinham o foco na idéia de ação de

forças químicas e não na idéia do curso de uma reação química, como era o caso dos estudos de Harcourt e Esson, que fazem parte do primeiro programa de investigação. Portanto, ao invés de se utilizar a notação de PIC (programa de investigação científica) utiliza-se a notação GW (Guldberg-Waage).

É importante esclarecer que nesta análise temos a consciência de que no livro didático, o conhecimento científico muitas vezes é apresentado de forma diferente do que está presente nos quatro programas de investigação científica. Nestes programas, pode-se observar, o desenvolvimento histórico do conhecimento científico visto através do olhar dos próprios cientistas e de historiadores da ciência. Mas, esse conhecimento às vezes da maneira que é apresentado, não é adequado para o entendimento dos estudantes do Ensino Médio, fazendo-se então necessária uma adaptação. Por exemplo, o cálculo diferencial e integral empregado na determinação da velocidade de uma reação química nas pesquisas originais não pertence ao currículo do Ensino Médio em muitas das escolas brasileiras. Então, este cálculo é substituído pelo conceito da velocidade média.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos livros didáticos analisados a teoria das colisões proposta por Lewis (Laidler, 1993), presente no PIC-III, que foi a primeira teoria que explicou, em termos microscópicos, a velocidade de uma reação, começou a aparecer a partir do ano de 1967, 49 anos depois de ser formulada (tab.2).

Já a teoria do Estado de Transição presente no PIC-IV começou a ser utilizada pelos autores dos livros didáticos para explicar a velocidade de reação, em termos microscópicos, a partir de 1967 (livro 10, Chem-study), portanto, 32 anos após a sua aceitação pela comunidade científica. Provavelmente, esse menor período de tempo se deve à influência do projeto norte-americano que visava a formação de um maior número de cientistas, portanto, o livro didático deveria possuir conhecimentos científicos mais atualizados. Em tal projeto, segundo seus autores, *é dada ênfase aos princípios químicos em detrimento da Química descritiva para retratar convenientemente a evolução da Química nas duas últimas décadas* (os autores se referem às décadas de 40 e 50).

Esta nova forma de se olhar para a velocidade de uma reação química, utilizando-se o modelo explicativo denominado teoria do Estado de Transição, é bastante diferente daquela iniciada por Wilhelmy em 1850, onde os estudos cinéticos eram praticamente empíricos e não se possuía um entendimento, em termos de microscópicos, da velocidade de uma reação. Portanto, através da substituição de um programa de investigação por outro, pode-se perceber quanto o entendimento envolvido na cinética química mudou e que provavelmente continuará mudando nos próximos anos. Esta visão dinâmica da ciência se estiver presente no livro didático, segundo Níaz (2001), talvez ajude os alunos a entender melhor o processo de construção do conhecimento científico.

A Lei de Guldberg-Waage é utilizada pelos autores de 11 livros didáticos, até o ano de 1993 (tab. 2) para explicar a influência da concentração na velocidade de uma reação, nos demais livros essa influência é explicada a partir da lei de velocidade de Van't Hoff (PIC-II).

Uma diferença importante entre as duas equações é que na de Van't Hoff a ordem é determinada experimentalmente, enquanto que a ordem na Lei de Guldberg-Waage é determinada pela soma dos coeficientes estequiométricos de uma reação. Portanto, a lei de Guldberg-Waage somente seria correta, segundo Pereira (2004), quando a reação química ocorresse conforme está escrita, o que corresponde a se afirmar que se trata de uma etapa elementar do mecanismo. Mas, mesmo colocando-se limitações ao uso da Lei de Guldberg-Waage, o aluno pode ficar com a idéia de que esta é uma lei geral que pode ser aplicada a todas reações químicas.

Os livros didáticos mais recentes já começam a enfatizar a forma experimental da determinação de uma lei cinética, e conseqüentemente da ordem de uma reação:

Com a realização de novos experimentos da velocidade da reação, os cientistas perceberam que nem sempre seria possível usar a expressão da Lei de Guldberg-Waage sem qualquer alteração, porque na

verdade, a lei que relaciona velocidade instantânea é determinada experimentalmente. (Novais, 1999, p. 150)

Desde o ano 1929, até o ano de 1966, não havia a preocupação por parte dos autores de explicar a influência, em termos microscópicos, da temperatura na velocidade de uma reação, com exceção dos livros de 1942 e 1946, cuja explicação é coerente com a do PIC III. A teoria do estado de transição começou a ser utilizada para explicar a influência da temperatura na velocidade de uma reação química a partir do ano 1967 (livro 10). E mesmo assim, alguns livros mais atuais (livros 17 e 19), ainda não a utilizam para explicar o efeito da temperatura na velocidade (tabela 2).

O *Chem-study* (1967), foi o primeiro livro editado no Brasil a abordar teorias mais atuais, como já foi mencionado anteriormente, esse material foi elaborado visando à introdução de um conteúdo científico mais atualizado, dentro de uma visão considerada mais moderna de ensino:

O vertiginoso desenvolvimento da Ciência e tecnologia contemporânea tornou imperioso que se cuidasse, não só da atualização, mas ate da reformulação do ensino de Química na escola secundária. (*Chemical Study*, p. V, Introdução).

Essa forma de abordar o conhecimento científico também está presente no livro das autoras Yvone e Naides (1977), que elaboraram seu material tendo como referência o *Chem-study* (1967) (tabela 2).

Apenas 4 livros (10, 13, 17 e 18), durante a explicação teórica, transitam de um programa para outro, seguindo uma ordem de um programa de menor poder explicativo para outro de maior, com o objetivo de mostrar a evolução teórica caracterizando assim a mudança de Programas de Investigação Científica, ou seja, caracterizando assim o desenvolvimento da ciência segundo a visão de Lakatos.

Por exemplo, para explicar a velocidade de uma reação química o livro didático 10 começa apresentando um modelo teórico chamado de Teoria das Colisões:

Na concepção molecular da matéria, é natural supor que duas moléculas devem se aproximar uma da outra para poderem reagir. Portanto, postulamos que as reações químicas dependem das colisões entre as partículas reagentes – átomos, moléculas, ou íons. Este modelo para a velocidade de reação é chamado teoria das colisões e fornece uma base conveniente para entender o efeito da concentração. A maior frequência de colisões resulta em maior velocidade de reação. (*Chemical Study*, 1967, p. 131)

Os autores deste livro didático, na sua explicação sobre a velocidade de uma reação química, usam a teoria das colisões, mas não faz referência á orientação espacial adequada que as moléculas devem possuir para que o choque seja efetivo. Mas adiante se encontra a explicação de que além de colidirem, as moléculas devem possuir um valor de energia mínimo, portanto a velocidade de uma reação seria dependente também do número de moléculas que possuíssem esse valor mínimo de energia:

Os químicos verificaram que as reações químicas ocorrem quando ocorrem colisões, mas apenas quando as colisões envolvem mais do que uma certa quantidade de energia (*Chemical Study*, 1967, p. 136).

A próxima explicação dos autores sobre a velocidade das reações em termos microscópicos envolve a explicação da formação do complexo ativado:

Quando as moléculas colidem e a reação se processa, os átomos têm de formar momentaneamente, ligações menos estáveis do que as ligações existentes nos reagente ou nos produtos da reação. Esses rearranjos moleculares de alta energia se assemelham a passagem nas montanhas – eles colocam uma barreira de energia entre os reagentes e os produtos. A reação só se dá se as moléculas que colidem tem energia suficiente para superar a barreira imposta pelos arranjos instáveis. (*Chemical Study*, 1967, p. 138).

Portanto, percebemos que está presente no texto a evolução dos modelos teóricos que explicam, em termos microscópicos, a velocidade de uma reação química. Contudo, nos demais livros, não foi possível identificar no texto analisado, o desenvolvimento dos conhecimentos científicos. Esses autores utilizam apenas uma teoria, talvez a que eles achem a mais importante ou suficiente, para explicar a velocidade de uma reação e os fatores que a influenciam.

Períodos	LD/Ano	Programas de Investigação Científica		
		Velocidade de uma reação química em termos microscópicos	Efeito da Concentração	Efeito da Temperatura
1929 - 1941	1/1929	PIC-I	GW	A
	2/1931	A	PIC-I	PIC-I
	3/1932	PIC-I	PIC-I	A
1942-1960	4/1942	PIC-I	GW	PIC-II
	5/1946	PIC-I	GW	PIC-II
	6/1954	A	GW	PIC-I
	7/1955	PIC-I	PCI-I	PCI-I
	8/1959	A	GW	PCI-I
1961-1970	9/1966	PIC-I	GW	PIC-I
	10/1967	PIC- IV	PIC-III	PIC- IV
	11/1968	A	GW	A
1971-1995	12/1976	PIC-IV	GW	PIC- IV
	13/1977	PIC-IV	PIC-III	PIC-IV
	14/1979	PIC-III	GW	PIC-II
	15/1980	PIC-III	GW	PIC-III
	16/1993	PIC-IV	GW	PCI-I
1996-2004	17/1999	PIC-IV	PIC-III	PIC-III
	18/2001	PIC-IV	PIC-IV	PIC-IV
	19/2003	PIC-IV	PIC-III	PIC-III
	20/2004	PIC-III	PIC-III	PIC-IV

Tabela 2. Caracterização dos livros didáticos. Nota: PIC-I: Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1865); PIC-II: Pfaundler e Van't Hoff (1872-1888); PIC-III: Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918); PIC-IV: Tolman, Eyring, Polanyi, e Evans (1920-1935); GW: Guldberg-Waage; A: indica a ausência da explicação teórica no livro didático.

5 CONCLUSÕES

Segundo Vincent e Stengers (1992), *a cinética é uma hipótese realista, implica que as moléculas dos químicos sejam efetivamente reconhecidas como entidades discretas, susceptíveis de movimento, de colisão, ou seja, de comportamento individual, e isso pode ser observado desde o início dos estudos das velocidades das reações químicas, onde se pode constatar a preocupação dos cientistas em propor uma explicação microscópica do processo, isto é, os cientistas sempre buscaram entender a velocidade de uma reação química em termos atômico-moleculares, utilizando para isso a construção de modelos teóricos.*

Mas, percebemos nos livros didáticos analisados a dificuldade de os autores fazerem propostas que permitam uma aprendizagem por parte dos alunos dentro da visão microscópica, os alunos dificilmente são motivados a construí-la, mas são intensamente informados destas idéias científicas de forma pronta e acabada. O que se nota na maioria dos livros didáticos é a ênfase dada ao aspecto empírico e matemático no tratamento dos conceitos envolvidos no tema cinética química.

Segundo Justi (1997), as possíveis justificativas para esse tipo de abordagem seriam: a familiaridade dos estudantes com as leis da mecânica, o que poderia facilitar o entendimento destas idéias, ou a grande ênfase que é dada à abordagem matemática no ensino de química em geral.

6 REFERÊNCIAS

- BENSAUDE-VINCENT, Bernadette.; STENGERS, Isabelle. *História da química*. Tradução de Raquel Gouveia. Lisboa: Instituto Piaget, 1992.
- JUSTI, Rosária. *Models in the teaching of chemical kinetics*. Reading, UK, 1997. Thesis (Doctor of philosophy). University of Reading. Department of Science and Technology Education.
- JUSTI, Rosária; GILBERT, John. History and philosophy of science through models: the case of chemical kinetics. *Science and Education* **8** (3): 287-307, 1999.
- LAKATOS, Imre. *História da ciência e suas reconstruções racionais*. Tradução de Emília Picado Tavares Marinho Mendes. Lisboa: Edições 70, 1998.
- LAIDLER, Keith James. *The world of physical chemistry*. New York: Oxford University Press, 1993.
- MORENO, Montserrat; SASTRE, Genoveva; BOVET, Magali; LEAL, Aurora; *Conhecimento e mudança. Os modelos organizadores na construção do conhecimento*. São Paulo: Editora Moderna / UNICAMP 2000.
- NÍAZ, Mansoor. Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* **12** (1): 97-100, 1994.
- . Teaching chemistry as rhetoric of conclusions or heuristic principles – a history and philosophy of science perspective. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* **1** (3): 315-322, 2000.
- . How important are the laws of definite and multiple proportions in chemistry and teaching chemistry? A history and philosophy of science perspective. *Science and Education* **10** (3): 243-266, 2001.
- PEREIRA NETO, José Cardoso. *Reflexões sobre conceitos da cinética química e equilíbrio químico*. São Paulo: Ed. do Autor, 2004.
- WANDERSEE, James; GRIFFARD, Baudoin. the history of chemistry: potential and actual contributions to chemical education. Pp. 29-46, in: GILBERT, John; JONG, Ono de; JUSTI, Rosária; TREAGUST, David; VAN DRIEL, Jan (eds.). *Chemical education: towards research-based practice*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.