

A INTERMEDIÇÃO DA NOÇÃO DE PROBABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS RELACIONADOS À CINÉTICA QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO

THE MEDIATION OF THE PROBABILITY NOTION IN THE DEVELOPING OF THE CHEMICAL KINETICS CONCEPTS IN HIGH SCHOOL

Marcelo Maia Cirino¹

Aguinaldo Robinson de Souza²

¹ Bacharel e licenciado em Química, mestre em Educação para a Ciência pela Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru e professor de Química do Ensino Médio. [mmcirino@fc.unesp.br]

² Professor Livre Docente do Departamento de Química e do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências da UNESP/Bauru. [arobinso@fc.unesp.br]

Resumo: Este trabalho procurou identificar como estudantes do Ensino Médio se apropriam de conceitos e elaboram determinados modelos inseridos em Cinética Química, especificamente o modelo cinético de colisão de partículas numa reação (Teoria das Colisões). Esta análise e as reflexões que a seguiram foram baseadas principalmente nos estudos realizados por Piaget (1975, 1975b, 1977), Piaget & Inhelder (1975,1977), Jun (2000) e Fischbein (1975). Utilizamos como documentos as transcrições das entrevistas (pré e pós-testes) realizadas individualmente com cada aluno. Inicialmente os estudantes foram entrevistados (pré-testes) com o intuito de identificar a familiaridade com a noção de evento probabilístico ou aleatório. Numa segunda etapa (pós-testes) esse conhecimento (ou a ausência parcial/total dele) foi posto à prova numa tentativa de estabelecer relações com um conteúdo específico da Química (Teoria das Colisões). Os resultados obtidos apontam para grandes discrepâncias entre o modelo cinético de colisões elaborado pelos estudantes e o cientificamente aceito.

Palavras-Chave: Probabilidade, Cinética Química, Teoria das Colisões.

Abstract: The purpose of this work is to contribute for Science teaching making analysis and reflections on the way high school students appropriate the concepts and models related to Chemical Kinetics, mainly particles collisions' kinetics model in chemical reaction (Collision Theory Model). This investigation was based on Piaget and Inhelder' studies (1975), and also on Piaget (1975, 1977), Jun (2000), and Fischbein (1975) works, which have studied the connection between the young students and the probabilistic thinking. The analysis of the document evidences had the aim to evaluate if the students would be able to achieve generalization and develop concepts about Probability Theory. In the second part these concepts or its partial/total lacks were linked with chemical kinetics in attempt to establish relationships between correct explanation of collision kinetic model and the students' failure models. The obtained result points to great misconceptions related to the correct and scientific model and the student's.

Keywords: Probability, Chemical kinetics, Collision Theory Model.

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, tais como os listados a seguir:

- o conceito de *mistura* de substâncias no estudo das soluções,
- o conceito de *emissão e decaimento* radioativos no estudo da radiatividade,
- a teoria cinética dos gases ideais e o conceito de *caminho livre médio*,
- os conceitos de *orbital*, de *onda-partícula*, de *salto quântico* e *hibridização* e a interpretação do *princípio da incerteza* na teoria atômica moderna,
- os conceitos de *colisão efetiva* e *complexo ativado* na teoria cinética das colisões,
- os conceitos relacionados ao *equilíbrio químico*.
- 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, no Ensino Médio, com frequência utiliza 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. Também os livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio, em sua maioria, nos capítulos que abordam os conteúdos citados acima, fazem uso de expressões derivadas da teoria das probabilidades. Como tais conteúdos são de extrema importância no que diz respeito ao entendimento dos fenômenos submicroscópicos a que se referem, e, mais ainda, considerando-se que a elaboração desses conceitos depende de generalizações e da utilização correta da teoria das probabilidades, esta pesquisa pretende investigar se alunos da última série do Ensino Médio conseguem fazê-lo e como o fazem. Escolhemos a “*Teoria das Colisões*” como tema de estudo principal de nossa pesquisa, pois entendemos que a compreensão essencial de sua proposta facilita e de certa forma, orienta a formação de conceitos e a elaboração de modelos ligados à “Cinética Química” (como “velocidade de reação”, “fatores que interferem na velocidade”, e “equilíbrio químico”).

Os sujeitos da pesquisa foram estudantes da terceira série do Ensino Médio de uma escola da rede particular, mas oriundos todos deles, da rede estadual. Essa turma era composta por 26 alunos, dos quais 15 foram escolhidos para a investigação. Os participantes escolhidos foram os de melhor desempenho escolar, baseado no aproveitamento e na participação dos mesmos até o terceiro bimestre, pois a coleta de dados foi realizada nos meses de setembro, outubro e novembro de 2006. Nessa classe a disciplina de Química era ministrada por dois professores, que dividiam o conteúdo curricular em Química Orgânica, Química Geral e Físico-Química. Ao todo, os alunos assistiam a cinco aulas de Química por semana, sendo duas de Química Orgânica e as três restantes de Química Geral e Físico-Química. Com autorização prévia dos professores e da direção da escola entrevistamos os alunos escolhidos nas dependências da própria escola num período fora do horário das aulas, gravando as entrevistas em áudio digital e recolhendo as participações nos experimentos e testes escritos. Os testes e as entrevistas a que submetemos os alunos foram baseados nos trabalhos de Piaget (1977, 1978) e, principalmente no trabalho de Piaget e Inhelder (1975) sobre a gênese da idéia de aleatoriedade em crianças e adolescentes. Utilizamos também os resultados de uma pesquisa desenvolvida na China, na forma de tese de doutoramento, na universidade de Nanyang, sobre a utilização do conceito de “*probabilidade*” por jovens do ensino superior em cursos da área de ciências (Jun, 2000). Utilizamos como documentos as transcrições das entrevistas (pré e pós-testes) realizadas individualmente com cada aluno participante. A análise e a interpretação desses documentos tiveram como objetivo

avaliar nossas hipóteses, pois esperávamos ser possível, tomando como base o trabalho de Piaget e Inhelder (1975), identificar se os alunos investigados seriam capazes de generalizar e elaborar conceitos acerca da “Teoria cinética das colisões” lançando mão de elementos da teoria das probabilidades. Inicialmente os estudantes foram entrevistados (pré-testes) com o intuito de identificar a familiaridade com a noção de evento probabilístico ou aleatório. Numa segunda etapa (pós-testes) esse conhecimento (ou a ausência parcial/total dele) foi posto à prova numa tentativa de estabelecer relações com um conteúdo específico da Química, ou seja, com a “Teoria das Colisões”. Tentamos esclarecer as seguintes questões: **1)** O estudante do Ensino Médio se utiliza da noção de acaso/probabilidade para elaborar seu modelo de colisão de partículas no estudo de Cinética Química ? **2)** Quando ele se utiliza dessa noção probabilística, percebe que os conteúdos relacionados à cinética química (os conceitos de velocidade de reação, energia de ativação, complexo ativado, geometria e frequência de colisão) são baseados num modelo casuístico? **3)** Essa percepção melhora o nível de elaboração conceitual do modelo cinético de colisões ?

Terminadas as entrevistas dos pós-testes, na segunda etapa da pesquisa, classificamos as respostas e as transcrições das falas, em categorias. Essas categorias não foram, em princípio, pré-estabelecidas, ou seja, não são as chamadas categorias “*a priori*”¹. Elas emergiram do agrupamento progressivo de seus elementos e tiveram as definições de seus títulos somente ao final do processo. Utilizamos como referencial teórico para análise das transcrições e das intervenções dos estudantes entrevistados a “*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 & Galiazzi, 2003, 2005).

A importância do ensino de Estatística e Probabilidade na Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio)

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. 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 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. 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 (Lopes, 1998).

¹ Autores como Laville et al (1999), descrevem as categorias em “*a priori*” e “*emergentes*”, e, inclusive, defendem a utilização das duas alternativas.

Uma revisão da literatura sobre o tema “Cinética Química”

A escolha de referenciais teóricos que nos auxiliassem a identificar falhas ou lacunas, ou ainda, as concepções alternativas em alunos do Ensino Médio submetidos à aprendizagem formal, numa aula de química tradicional, foi um processo árduo de estágios distintos. Nosso objetivo inicial consistiu em verificar o nível de elaboração conceitual e de construção de modelos acerca da Teoria das Colisões. Imaginávamos ser possível relacionar as dificuldades de aprendizagem e as lacunas conceituais com a ausência de noções probabilísticas, ou mesmo com o não entendimento da teoria das probabilidades, que normalmente é ensinada aos alunos do Ensino Médio na segunda série. Os conceitos relacionados com cinética química também são estudados usualmente na segunda série ou, dependendo da grade curricular da escola, na terceira. Para garantir que os sujeitos de nossa pesquisa já tivessem tomado contato com ambos os conteúdos, escolhemos alunos da terceira série para a investigação. Em nosso levantamento bibliográfico encontramos alguns trabalhos relacionados ao ensino de “*Cinética Química*” no Ensino Médio, como o de Justi & Ruas (1997) acerca da representação submicroscópica do modelo cinético. O trabalho de Beltran (1997), com alunos da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública de São Paulo, sobre a utilização da teoria das colisões, cujos resultados apontaram para uma concepção de “simultaneidade” e “sincronia” no comportamento das partículas que participam de uma reação química. O de Schnetzler & Rosa (1998), sobre concepções dos alunos acerca das transformações químicas que aponta para determinados obstáculos, como as concepções prévias, no que diz respeito a interpretação submicroscópicas das reações químicas. Segundo essas pesquisadoras, poucos estudantes de Ensino Médio empregam os conceitos de átomos e moléculas em seus raciocínios sobre reação e cinética química. Muitos concebem o nível atômico-molecular como se fosse uma extrapolação do nível fenomenológico, ou seja, não conseguem diferenciar as propriedades micro e macroscópica empregando um mesmo modelo ou teoria. Particularmente no caso da teoria das colisões, não conseguem identificar o comportamento das substâncias durante a transformação **reagente**→**produto**. Para estas autoras, estes estudantes apresentam enormes dificuldades em transitar do fenomenológico para o macroscópico (alguns alunos chegam a citar, nas entrevistas o fato de existirem moléculas “quentes”, mais suscetíveis de sofrer colisão, e moléculas mais “frias”, que dificilmente colidem).

Os referenciais teóricos e a formação do pensamento probabilístico

Pesquisando na literatura, constatamos que a obra de Jean Piaget e Bärbel Inhelder, “*The origin of the idea of chance in children*”, publicada nos anos 50 (com o título original, em francês, “*La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant*”), havia sido uma das primeiras a investigar a gênese das idéias de acaso e probabilidades em crianças e jovens. Outros pesquisadores, todos em língua inglesa, também realizaram trabalhos sobre as mais diversas facetas e os mais variados aspectos do aprendizado, das percepções, dos obstáculos epistemológicos e de “*misconceptions*”² acerca da Teoria das Probabilidades em crianças, jovens e adolescentes [veja por exemplo, Green (1978); Leake (1965); Kuzmak & Gelman (1986); Yost et al. (1962); Hoemann & Ross (1971); Goldberg (1966); Davies (1966); Ross (1966); Way (2003) e Papanastasiou et al. (2002)]. Também encontramos uma pesquisa muito interessante e que nos foi extremamente inspiradora, sobre as dificuldades de aprendizagem e aplicação da teoria das probabilidades em jovens de 17 a 20 anos, desenvolvida em Xangai (China), na forma de tese de doutoramento (Jun, 2000). E, por fim, recorreremos ao trabalho do pesquisador (psicólogo e matemático romeno) Efraim Fischbein (1975), que investigou as fontes intuitivas do

² *Misconceptions* ou concepções alternativas, concepções prévias ou concepções errôneas.

pensamento probabilístico em crianças e jovens. De acordo com Piaget & Inhelder (1975), as idéias de acaso e probabilidade no decurso do desenvolvimento cognitivo da criança, se colocam em estreita relação com as operações formais. Assim, pode-se relacionar os seguintes estados de desenvolvimento cognitivo com o pensamento probabilístico:

- pré-operatório (2-4 a 7 anos de idade, aproximadamente): a criança não assimila os objetos (ou eventos) ainda, de tal forma que possa comparar a chance de ocorrência dos diversos eventos aleatórios. Elas não possuem, ainda, nenhuma medida intuitiva de probabilidade.
- das operações concretas (7 a 11 anos de idade, aproximadamente): a criança já tem capacidade para estabelecer certos tipos de comparações entre as probabilidades recíprocas de eventos. Existe a diferenciação entre as operações (associadas ao domínio do que é dedutível) e o acaso (associado ao domínio do que é imprevisível).
- das operações lógico-formais (11 a 12 anos de idade em diante): já existe, na criança, uma assimilação do acaso às operações formais e aparece o julgamento de probabilidade e a construção dos sistemas de análise combinatória, permitindo determinar o conjunto de casos possíveis e o acesso ao raciocínio proporcional. O que Piaget chama de “*operações formais*” pretende indicar que alunos dessa faixa de desenvolvimento não pensam apenas operatorialmente, mas avançam em direção a raciocínios formais e abstratos e, sendo assim, já é possível o ensino de probabilidade (que necessita de pensamento abstrato e lógico e cuja forma de raciocínio em etapas anteriores não permite elaborar). Piaget & Inhelder (1975) assinalam também, que a partir do estágio das operações formais, conclusões dedutivas podem ser formuladas baseadas em determinadas premissas, que necessitam de comprovação mediante experiências ou experimentos adequados.

Os Pré-testes: entrevistas acerca do conceito de mistura casual

- Primeiro teste/entrevista: consistiu em avaliar o conceito de mistura aleatória, ou brassagem³. Num dos seus primeiros estudos sobre a intuição do acaso, Piaget & Inhelder investigaram-na dentro da realidade física, ou seja, a gênese da noção de *mistura* e de *irreversibilidade*. A idéia de mistura, crescente e irreversível, é o ponto de partida da intuição do acaso, segundo estes autores. Eles consideram o acaso físico como a interferência de sucessões causais independentes:

Quando um golpe de vento bate uma porta, ferindo uma criança, ela terá dificuldade em entender que nem o vento e nem a porta tiveram a intenção de prejudicá-la: ela verá apenas a interferência das causas que a fizeram aproximar-se da porta e das que a lançaram contra ela, mas não admitirá a independência das duas causas, privando-se assim de considerar o fato como fortuito. (Piaget & Inhelder, 1975, p. 01)

Assim, segundo estes autores, ou a interferência das causas sem o reconhecimento de sua independência ou sua independência sem a constatação de sua interferência, são a princípio, o que impede a criança de construir a idéia de acaso. Para investigar essa noção inicial, Piaget & Inhelder propuseram um experimento no qual à criança, era apresentada uma caixa retangular, repousando segundo seu eixo transversal sobre um dispositivo que a permite oscilar. Parada, a caixa fica inclinada no sentido de um dos seus lados menores e ao longo desse lado inclinado encontram-se alinhadas, e em repouso, 8 esferas vermelhas e 8 esferas brancas. Essas duas fileiras de esferas estão separadas por uma pequena divisória de madeira conforme a **foto 01**, mostrada a seguir:

³ Piaget & Inhelder utilizam o termo “brassagem” para designar mistura, ou o movimento na qual a mistura é produzida.



Foto 01

(experimento que investiga a noção de mistura ou brassagem, extraído de Piaget & Inhelder, 1975)

A cada oscilação, as esferas passam para o lado oposto da caixa voltando depois para o lado inicial, mas com uma série de permutações possíveis. Os movimentos sucessivos de oscilação não devem ser bruscos, de forma que a mistura das esferas seja gradual e progressiva: no início, duas ou três esferas vermelhas se misturarão às brancas e vice-versa, pois a brassagem aumentará pouco a pouco. O problema é então determinar se, em presença dessa brassagem material bastante visível, a criança representa o produto dela como uma mistura crescente e irreversível de elementos brassados, ou se, apesar da desordem aparente, ela imagina os objetos misturados como ainda ligados por algum tipo de “*laço oculto*”. Assim os autores elaboram, durante o experimento, uma seqüência de perguntas, como numa entrevista clínica, bastante comum na obra de Piaget. Após a primeira brassagem (movimento pendular, na qual a caixa oscila na direção oposta àquela em que estão as esferas em repouso, apoiada no seu eixo fixo ou pivô):

- 1) Em que ordem as esferas voltarão ?
- 2) Ficarão as esferas de mesma cor de um mesmo lado ou irão se misturar?
- 3) Faça a previsão do resultado após cada movimento de brassagem.
- 4) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esferas de mesma cor para um mesmo lado.
- 5) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esferas de mesma cor para seu lado de origem.

Adaptamos esse experimento, tentando ser fiel ao original, construindo uma caixa de madeira retangular, pintada na cor branca para facilitar as visualizações, e utilizamos seis bolinhas de gude **azuis** e seis **brancas** como as esferas de Piaget. Para cada aluno entrevistado, repetíamos a situação inicial, onde as seis bolinhas de cada cor ocupavam um mesmo lado da divisória. Com o gravador digital ligado, procedíamos às perguntas a cada movimento pendular de oscilação da caixa, retornando em seguida ao ponto de repouso em relação ao eixo (brassagem). A análise de todo o processo irá se basear nas transcrições das entrevistas gravadas. Privilegiamos as respostas que se relacionavam com os objetivos da nossa investigação, desprezando as falas que apenas se referiam a comentários ou a indagações não pertinentes. Introduzimos uma variante no teste de mistura casual. Num primeiro momento, no início do teste utilizamos quatro bolinhas de gude brancas e quatro azuis. Após um certo número de movimentos de oscilação, variando de duas a quatro brassagens, aumentamos a quantidade de bolinhas para seis de cada cor. Percebemos que ao proceder desse modo a noção de mistura era melhor percebida pelos alunos,

pois o número de bolinhas de cores diferentes que se alternavam (misturavam) nos dois lados do separador da caixa variava mais depressa (com menos brassagens).

- Segundo teste/entrevista: consistiu em verificar a noção de distribuição uniforme. A esse respeito, segundo Piaget & Inhelder (1975), nada mais representativo que a forma de divisão apresentada por gotas de chuvas ao cair casualmente no início de um aguaceiro. Suponhamos uma superfície repartida em quatro lajes iguais, numa área retangular, como o quintal de uma casa por exemplo. Todas as quatro lajes desse quintal têm as mesmas dimensões (são iguais entre si), e as primeiras gotas de chuva ficam esparsas e ainda isoladas. Apenas certas lajes receberão gotas, ao passo que outras nada receberão (o que constitui uma imagem física familiar do acaso). Contudo, à medida que a chuva continua, há sempre a probabilidade de que determinada laje, poupada no início, receba gotas da chuva até ocorrer uma distribuição regular de gotas. Segundo Piaget & Inhelder, essa divisão regular constitui um fato de observação habitual para crianças de qualquer idade (idem, 1971, p. 50). Os autores então propõem o seguinte experimento: uma folha de papel branco, repartida em quadrados de 2 a 3 cm² simula um lajeamento regular, e algumas pequenas esferas de pouca mobilidade (feitas de feltro, por exemplo), lançadas através de uma grade que é sacudida, representando as gotas de chuva. Então pede-se à criança que faça previsão de onde as gotas (esferas) irão cair, se todas as lajes serão pouco a pouco tocadas, e como se efetuará a distribuição com o aumento delas (das gotas). De acordo com Piaget & Inhelder, em qualquer idade, acima dos 6-7 anos, a criança sabe muito bem que, ao cair a chuva, haverá gotas em toda parte, mas o “toda parte” não implica, para os menores (abaixo dos 6-4 anos), uma distribuição ao mesmo tempo casual e cada vez mais regular: a dispersão começa por ser regular sem ser fortuita, ou casual sem ser regular, e só nos estágios correspondentes aos 7-10 e 10-12 anos é que se opera a síntese da uniformidade e do acaso, graças à compreensão gradual do que Piaget & Inhelder chamam de “lei dos grandes números”. Adaptamos esse experimento, aplicando-o aos alunos participantes da pesquisa. Pedimos a cada um deles, que desenhasse numa folha de papel previamente dividida em quatro partes iguais (com um risco em cada sentido), onde eles achavam que iriam cair as 20 primeiras gotas de uma chuva hipotética, supondo que aquela área retangular dividida em 4 partes era um quintal de uma casa sob um início de aguaceiro. As gotas de chuva deveriam ser representadas por bolinhas ou esferas pequenas e partíamos do pressuposto que a chuva cobria toda a área do quintal.

- Terceiro teste/entrevista: Neste teste buscou-se verificar se os estudantes apresentavam a noção de permutação aleatória. Segundo Piaget & Inhelder (1975), é perfeitamente possível investigar, na criança, a presença ou não de sistemas que encontrem o número de permutações possíveis para pequena quantidade de objetos. Este sistema equivale então à descoberta das próprias operações formadoras, em oposição à sua formulação matemática (ou seja, $n!$). Assim, sabendo-se que dois elementos **A** e **B** só dão lugar a duas permutações, **AB** ou **BA**, as crianças acharão que o acréscimo de um terceiro elemento **C** dará lugar a três vezes mais, ou seja, $2 \times 3 = 6$, porque se pode colocar **C** de três maneiras em relação à cada par **AB** e **BA** (**CAB**, **ACB**, **ABC**, **CBA**, **BCA** e **BAC**). Também acharão que o acréscimo de um quarto elemento **D** proporciona quatro vezes mais permutações, seja, $6 \times 4 = 24$, porque podemos colocar **D** de quatro maneiras em relação a cada um dos seis trios. De fato eles acabarão descobrindo a lei matemática : **$P_n = 2 \times 3 \times 4 \times 5 \dots \times n$** , e mesmo que não consigam quantificar isso numa formulação, pelo menos chegarão a extrair seu mecanismo operatório (Piaget & Inhelder, 1971, p. 173-174). Existe um ponto, de fundamental importância segundo os autores, que trata da diferença entre a mistura casual (brassagem) que foi abordada no primeiro experimento dessa nossa pesquisa e a permutação, que também é um tipo de mistura, só que intencional. Para Piaget é muito provável que a criança comece por aprender as permutações espontâneas observadas entre as coisas e objetos do cotidiano, para só depois efetuar, ela mesma,

permutações intencionais. Todavia, ainda segundo Piaget & Inhelder (1975), nos dois casos, as permutações casuais só se tornam inteligíveis em função da compreensão das permutações sistemáticas. Nos parece então, que, longe de se impor pelos fatos observáveis, a idéia de acaso pressupõe uma construção, ou seja, a formação de sistemas operatórios que possam reconhecer e elaborar a existência de fenômenos aleatórios para depois elaborar e identificar as quantidades de probabilidade envolvidas. Os autores propõem, em seu trabalho, um experimento para investigar essa percepção de permutação: pede-se à criança que proponha maneiras diferentes de colocar 4, depois 5 pessoas (chamadas de A, B, C, D, E) lado a lado num passeio fictício. Adaptamos essa técnica para utilizarmos em nossa investigação com os alunos sujeitos da pesquisa. Pedimos que cada um deles colocasse, em todas as ordenações possíveis, cartas de papelão onde estavam marcadas (em tamanho grande) as letras **A, B, C, D, E e F**. Iniciamos com as cartas **A e B**, depois passamos para **A, B e C**, e assim sucessivamente, até que todas as seis cartas participassem do processo.

A entrevista final: os alunos identificam aspectos probabilísticos na “Teoria das Colisões”?

O tempo decorrido entre a aplicação dos pré-testes e a última entrevista foi de aproximadamente um mês. Esse intervalo se deveu às provas finais do quarto bimestre letivo, com as quais os alunos estavam envolvidos. Novamente durante o período da tarde, fora do horário normal de aulas, convocamos todos, na mesma ordem em que haviam sido entrevistados nos pré-testes. Desta vez, antes da entrevista, aplicamos um questionário para investigar os conceitos relacionados à Teoria Cinética. Encerrado o questionário, os alunos foram então entrevistados, com o gravador digital de áudio registrando novamente suas intervenções e falas. Agora, o alvo era a correlação entre a Teoria das Colisões, no modelo cinético de partículas que representa uma reação química, e aspectos da Teoria das Probabilidades relacionados a esse conteúdo específico. Queríamos investigar se os alunos estabeleciam alguma correlação ou não, se utilizavam ou não, elementos probabilísticos na interpretação/conceituação do modelo cinético. Para tanto preparamos um experimento inspirado, mais uma vez, no trabalho de Piaget & Inhelder (1975, p. 207), que, utilizando bolinhas de gude⁴ azuis e vermelhas contidas num saco fechado e escuro, pediam às crianças que as extraíssem ao acaso e calculassem as chances de obter duas seguidas de mesma cor (para investigar as operações formais de probabilidade quantitativa).

Ao adaptar esse experimento, nosso objetivo foi o de simular uma reação química bimolecular, elementar⁵, supondo condições ideais. Usando bolinhas de isopor, pintadas na cor preta e na cor vermelha, representando as moléculas dos reagentes, nossa proposta foi a de simular colisões, num nível de representação macroscópico para tentar identificar de que maneira os estudantes elaboram mentalmente o modelo submicroscópico. Colocamos 50 bolinhas *pretas* e 50 bolinhas *vermelhas* no interior de um recipiente na forma de bolsa, totalmente fechado e na cor preta. Pedimos aos alunos que fizessem uma “tentativa”. Cada “tentativa” significava retirar do recipiente duas bolinhas em seqüência. Se fossem duas bolinhas da mesma cor, não ocorreu choque efetivo e, portanto, não houve reação (duas moléculas do mesmo reagente colidindo). As duas bolinhas retornavam ao saco. Caso as bolinhas retiradas em seqüência fossem de cores diferentes (uma preta e outra vermelha ou vice-versa) ocorreu choque efetivo e, portanto, formou-se o produto (colisão entre moléculas de reagentes diferentes). As duas bolinhas então, eram retiradas do recipiente e outra era colocada, de cor *branca*, no saco, representando o produto formado. A **foto 02**, a seguir, mostra a montagem do experimento:

⁴ Na versão em inglês do livro de Piaget & Inhelder (1975), aparece a palavra “marble”, cuja tradução para o português de Portugal é “bilha”, ou, para o português falado no Brasil, “bola de gude”.

⁵ Reação elementar ou aquela que necessita de uma única colisão, ou uma única etapa, para formar seu complexo de ativação. (Masterton et al., 1990, p. 357).



Foto 02

(experimento que simula uma reação química bimolecular, inspirado em Piaget & Inhelder, 1975)

Estávamos considerando, nessa simulação, que as partículas (bolinhas) estavam na temperatura em que alcançam a energia de ativação para reagiram e que a geometria de colisão era sempre a ideal. Após cada tentativa (cada aluno efetuou em média, de 15 a 20) foram feitas as seguintes perguntas: *1) Você acha que a probabilidade de colisão efetiva aumentou, diminuiu ou não se alterou? Por que ? 2) Faça uma previsão para a próxima tentativa (colisão efetiva ou não e com qual chance).*

Considerações Finais

Na análise final da última entrevista, onde utilizamos um modelo macroscópico que simulava uma reação química bimolecular em condições ideais, pudemos testar de maneira mais precisa nossas idéias acerca do envolvimento dos estudantes com as noções de probabilidade e acaso. Esse experimento adotou uma abordagem freqüentista, ou seja, nossa interpretação acerca do fenômeno investigado evoluiu a partir do cálculo do número de ocorrências de colisão efetiva sobre o total de colisões acontecidas, considerando-se ambas (efetivas e não efetivas) como equiprováveis num conjunto finito de repetições (tentativas), embora para este tipo de abordagem esses dois tipos de restrições possam ser eliminadas. Para o conjunto de tentativas estabelecidas para cada estudante investigado, pudemos listar algumas características interessantes com relação ao experimento, como as que se seguem:

1) os alunos em sua totalidade **NÃO** perceberam, de início, a semelhança entre os modelos macro (utilizado por nós) e microscópico (ensinado durante as aulas de química). Alguns, como CRI (18), DIE (17), THI (16) e THA (19), no começo do experimento que simulou uma reação química (com as bolinhas vermelhas e pretas representando as moléculas reagentes), fizeram estimativas de probabilidade (para colisão efetiva) bastante equivocadas, em função da quantidade inicial. Com a evolução da entrevista foram compreendendo melhor o modelo probabilístico e passaram a interpretar de maneira mais próxima daquilo que é matematicamente correto; **2)** na maioria dos testes, após algumas tentativas (que variou de aluno para aluno), os estudantes se davam conta da dificuldade de ocorrência de colisão efetiva, ou seja, de extrair da bolsa, duas bolinhas de cores diferentes em seqüência. Na fase final da entrevista, muitos deles (53%) perceberam que essa dificuldade estava relacionada principalmente ao fato das colisões efetivas serem **ALEATÓRIAS**; **3)** a percepção de que o produto formado (bolinhas

brancas) está presente no meio reacional e que efetivamente seus choques com as partículas reagentes produzem colisões *não-efetivas* aconteceu **DURANTE** o experimento, e nunca antes dele, ou seja, o modelo microscópico ensinado em sala de aula não contempla este aspecto. Talvez esse fato possa ser melhor explorado num estudo posterior (fica aqui a sugestão) onde se poderia investigar como evolui o conceito de **EQUILÍBRIO QUÍMICO** a partir dos produtos formados e a cinética da reação inversa; **4)** durante a execução do experimento a maioria (67%) dos sujeitos entrevistados percebeu que não são **TODAS** as partículas que entram em colisão efetiva ao **MESMO TEMPO**, como ocorre normalmente na interpretação do modelo microscópico abordado em sala de aula (conceito de simultaneidade); **5)** na maioria das simulações de reação (80%) com as bolinhas pretas e vermelhas, a primeira colisão efetiva ocorreu somente após algumas tentativas, o que fez com que muitos dos entrevistados se dessem conta de que esse processo de colisão é realmente casual, podendo ser influenciado então por fatores externos que podem alterar significativamente as condições de espaço amostral, equi-probabilidade e frequência relativa dos eventos considerados (colisões).

Podemos destacar, além disso, outros aspectos. Sem sombra de dúvida, a execução dos experimentos, os testes aplicados, as entrevistas e os questionamentos levados a cabo durante a pesquisa tornaram possível, dentro de uma abordagem construtivista, o envolvimento dos alunos, colocando-os em estreito contato com as idéias relacionadas ao acaso e probabilidade. Tornou igualmente possível que muitos se apercebessem do modelo cinético de colisões de maneira mais simples e esclarecedora. Porém faz-se necessário, a partir desse ponto, tecer algumas considerações acerca das limitações dos experimentos escolhidos, que, mesmo tendo sido propostos por Piaget & Inhelder há mais de 50 anos, adaptados ao nosso trabalho, conseguiram cumprir sua função investigativa dentro das nossas expectativas. O caso mais crítico, em nossa opinião, é o experimento envolvendo a retirada aleatória das bolinhas vermelhas e pretas de uma bolsa fechada, simulando uma reação química bimolecular num reator isolado. A idéia principal, por trás de sua escolha e aplicação foi a de que pudéssemos avaliar, com maior clareza, a percepção dos estudantes sobre a aleatoriedade das colisões das partículas reagentes (íons, moléculas ou átomos) numa reação química ordinária. Mas, é preciso ressaltar que:

I) Esse dispositivo não é o mais apropriado para se lidar com o conceito de velocidade de reação. Vejamos porque. Consideremos uma única bolinha preta e uma bolinha vermelha apenas no interior da caixa (reator). Qual seria a probabilidade de haver colisão efetiva (retirada de uma bolinha de cada cor em seqüência)? Cem por cento, correto? E, se aumentássemos a quantidade de bolinhas vermelhas para dez, mantendo apenas aquela única bolinha preta no interior do reator? E, em seguida, pedíssemos a um dos alunos envolvidos na pesquisa para fazer uma tentativa (retirada de duas bolinhas em seqüência). Qual seria a chance agora, de ocorrer uma colisão efetiva? Menor que cem por cento, claro. Ora, esse fato poderia induzir o estudante a concluir que um aumento na quantidade de bolinhas (aumento da concentração de reagentes, em última análise) seria responsável por uma diminuição da probabilidade de haver choque efetivo e, portanto, que a velocidade da reação iria diminuir. Isso seria frontalmente contrário àquilo que é proposto pela teoria cinética das colisões e este é um dos pontos deficientes do experimento.

II) Outra questão delicada é a da não utilização do tempo na simulação da reação. A teoria das colisões lida com aspectos probabilísticos, mas envolvendo situações dinâmicas, cujos resultados são determinados pela associação entre um evento probabilístico (estático) e um evento temporal (dinâmica das colisões), do qual o experimento de Piaget & Inhelder não consegue dar conta. Estes dois eventos são inseparáveis e sua interdependência fica explícita na expressão da velocidade das reações em que aparecem as concentrações dos reagentes (termo que está relacionado à Teoria das Probabilidades) e o fator de frequência (que estabelece o número de choques por unidade de tempo, conforme previsto pela Teoria das Colisões). Como em nossa simulação de reação a coordenada temporal não está presente, não é possível, ao longo do experimento, destacar a relação entre velocidade e quantidade (concentração) de reagentes e

produtos. Pelo número de tentativas que foram feitas, sem a análise efetiva da frequência de retirada de pares de bolinhas pretas e vermelhas, não se pode afirmar nada acerca da variação da velocidade. Numa das simulações, por exemplo, um dos alunos (CES), precisou de cinco tentativas (retiradas de duas bolinhas em seqüência), para conseguir um par de bolinhas “preta-vermelha” ou “vermelha-preta” (par PV ou VP). Mas, logo em seguida, precisou de apenas mais uma tentativa para conseguir um novo par PV. Ora, esse fato poderia conduzi-lo ao raciocínio de que a velocidade aumentou, mesmo com menos bolinhas no interior do reator (menor concentração de reagentes). Novamente haveria contradição em relação ao modelo proposto (estatístico) pela Teoria das Colisões. Por isso, nossa preocupação em não colocar o termo “*velocidade de reação*” atrelado ao experimento, e nos atermos apenas ao evento probabilístico em si (as colisões e o comportamento aleatório das partículas numa reação).

III) Um outro tipo de limitação que também está relacionada às condições da simulação realizada, é o cálculo da probabilidade (para colisão efetiva) em função da quantidade de bolinhas presentes no reator (saco fechado). Matematicamente, como duas bolinhas (uma de cada cor) são sempre retiradas numa colisão efetiva⁶ (par PV, ou VP), o valor percentual de probabilidade deveria permanecer aproximadamente constante e próximo de 50%. Como uma bolinha branca é introduzida (simultaneamente à retirada do par PV ou VP) para representar o produto formado na colisão efetiva, ocorrem distorções nesse cálculo, mas que, no nosso entendimento, não chegam a comprometer o objetivo do teste, que é o de fornecer subsídios (de visualização inclusive) para que o estudante elabore um modelo probabilístico de colisão numa reação química. Caso fizéssemos, em nossa simulação, a extração das duas bolinhas ao mesmo tempo (já que colisão sugere choque simultâneo) a probabilidade seria de 33% pois seriam então três os eventos possíveis (par VV, par PP, ou par PV/VP). Por um descuido nosso, em algumas entrevistas, chegamos a indagar os estudantes sobre a probabilidade de ocorrer colisão efetiva na primeira tentativa, ao invés de perguntar sobre a chance de sair um par de bolinhas de cores diferentes (PV ou VP) e evidentemente, esse fato pode ter influenciado algumas das respostas, mas entendemos que mesmo que isso tenha ocorrido não houve comprometimento dos resultados como um todo. Outro ponto a ser discutido, talvez em futuros trabalhos que venham a investigar mais facetas do aspecto probabilístico das colisões em Cinética Química, é o experimento envolvendo as esferas (bolinhas de gude) oscilando num plano inclinado, dotado de um separador (veja foto na sexta página deste trabalho). Seria uma alternativa à utilização do reator fechado (bolsa preta) com as bolinhas pretas e vermelhas estáticas. Nesse caso, como as bolinhas de gude estariam em movimento, e sofreriam colisões mudando de lado em relação ao separador, poder-se-ia pensar num experimento onde as colisões efetivas fossem aquelas que envolvessem bolinhas de gude de cores diferentes e com troca de posição (que representaria a energia de ativação necessária) em relação ao separador central. Desse modo, talvez, se permitisse uma visualização mais realista de outras características (como a dinâmica de movimento das partículas reagentes) da cinética molecular, propiciando ao estudante melhores condições de elaboração de seu modelo conceitual.

Por último, podemos afirmar, com base nas transcrições e nas respostas dos questionários com os sujeitos de nossa investigação, que existe uma grande possibilidade dos alunos conseguirem estabelecer relações entre os conteúdos de cinética química - em particular da Teoria das Colisões - e as idéias de acaso e probabilidade. Isso, em nossa opinião, vai depender da abordagem utilizada e da estratégia de ensino adotada pelo professor.

⁶ A escolha sobre como as bolinhas seriam retiradas da bolsa fechada (simulando um reator) se inspirou muito nos experimentos que Piaget & Inhelder (1975) descrevem em seu livro. Porém caso tivéssemos optado pela retirada simultânea das mesmas, os resultados poderiam se aproximar mais do modelo cinético cientificamente aceito.

Referências

- BELTRAN, N. O. Idéias em Movimento. *Química Nova na Escola*, n. 05, p. 14-17, 1997.
- 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, 2006.
- GREEN, M. G. Structure and sequence in children's concepts of chance and probability: a replication study of Piaget and Inhelder. *Child Development*, v. 49, p. 1045-1053, 1978.
- JUN, L. *Chinese Student's Understanding of Probability*. Thesis, National Institute of Education of Nanyang Technological University, Nanyang (China), 2000.
- JUSTI, R. S.; RUAS, R. M. Aprendizagem de Química: reprodução de pedaços isolados de conhecimento? *Química Nova na Escola*, n. 05, p. 24-27, 1997.
- LOPES, C. A. E. *A Probabilidade e a Estatística no Ensino Fundamental: uma análise curricular*. Dissertação de Mestrado. Campinas: FE-UNICAMP, 1998.
- MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; STANITSKI, C. L. *Princípios de Química*. Rio de Janeiro: LTC, 1990.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.
- MORAES, R.; GALIAZZI, M. C.; RAMOS, M. G. Um contínuo ressurgir de Fênix: reconstruções discursivas compartilhadas na produção escrita. Mini-curso sobre Análise Textual: metodologia de análise de informações em pesquisas qualitativas em Educação em Ciências. In: *V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (V ENPEC)*, Bauru, dez. 2005.
- PIAGET, J. *A construção do real na criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1975. (primeira edição em francês de 1937)
- _____. *A formação do símbolo na criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1975b. (primeira edição em francês de 1956)
- _____. *A epistemologia genética: sabedoria e ilusões da filosofia*. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (primeira edição em francês de 1950)
- PIAGET, J.; INHELDER, B. *The origin of the idea of Chance in children*, New York: Norton & Company Publishers, 1975.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. *A imagem mental na criança: estudo sobre o desenvolvimento das representações imagéticas*. Porto: Livraria Civilização, 1977.
- 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.
- SCHNETZLER, R. P.; ROSA, M. I. F. P. Sobre a importância do conceito transformação química no processo de aquisição do conhecimento químico. *Química Nova na Escola*, n. 08, p. 31-35, 1998.