

ENSINO DE GEOMETRIA MOLECULAR POR MEIO DO USO DE MODELO FÍSICO CONSTRUÍDO COM MATERIAIS RECICLÁVEIS E DE BAIXO CUSTO

Teaching of Molecular Geometry using physical model built with recyclable, low cost materials

Grazielle de Oliveira Setti [grazielle.gibin@unila.edu.br]

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Avenida Silvio Américo Sasdelli, 1842, Vila A, Foz do Iguaçu –PR. CEP: 85866-000

Gustavo Bizarria Gibin [gustavogibin@fct.unesp.br]

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente-SP. CEP: 19060-900

Luiz Henrique Ferreira [ferreiraufscar@gmail.com]

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, Km 235 – SP-310, Monjolinho, São Carlos –SP. CEP: 13565-905

Recebido em: 15/08/2018

Aceito em: 09/04/2019

Resumo

A Química pode ser compreendida por meio de representações em nível macroscópico (observável a olho nu), submicroscópico (referente ao mundo atômico-molecular) e no nível simbólico (a linguagem da Química). O conceito de geometria molecular pode ser ensinado por meio do uso de modelos moleculares. A proposta desse trabalho foi utilizar um modelo molecular construído com garrafas PET para ensinar o conceito de geometria molecular. O referencial teórico da pesquisa foi a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird (1983). Os sujeitos da pesquisa foram 12 alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública de São Carlos/SP. Foram feitos quatro encontros com duração de duas horas cada e os alunos construíram os seus próprios modelos com garrafas PET e outros materiais de baixo custo. Foram realizadas aulas teóricas e resolução de exercícios com o uso dos modelos moleculares para ajudar na representação das espécies químicas em nível submicroscópico e também como meio para transitar para o nível simbólico. Os dados foram coletados por meio de pré-teste e pós-teste. Foram observadas melhorias na compreensão sobre o conceito de geometria molecular e na forma de representar os símbolos químicos.

Palavras-chave: Ensino de Química; geometria molecular, modelos moleculares, modelos alternativos; representação simbólica; linguagem química.

Abstract

Chemistry concepts can be understood using representations at the macroscopic level (observable to the naked eye), submicroscopic level (referring to atomic-molecular world) and at the symbolic level (language of Chemistry). The concept of molecular geometry can be taught using molecular physical models. In this work, molecular models built with PET bottles were used to teach the molecular geometry. The theoretical framework of the research was the Johnson-Laird's mental models theory (JOHNSON-LAIRD, 1983). The research subjects were 12 high school students from a public school at São Carlos/SP. The work was developed during a course of 8 hours (4 meetings of 2 hours). The students built their own molecular models using PET bottles and other low cost materials. Theoretical classes and resolution of exercises were performed using the molecular models, which represented the chemical species at submicroscopic level, helping to transit to the symbolic level. Data were

collected by using pre-test and post-test. It was observed that the students improved both: their understanding about the concept of molecular geometry and the ability to represent chemical symbols.

Keywords: Chemistry teaching; molecular geometry, molecular models, alternative models; symbolic representation; chemical language.

Introdução

Johnstone (1993, 2000) defende que no conhecimento químico estão envolvidos três diferentes níveis de representação: macroscópico, submicroscópico e simbólico. No nível macroscópico os fenômenos estudados pela Química são observáveis a olho nu e no submicroscópico, o processo químico é explicado pelo arranjo e movimento de moléculas, átomos e de espécies subatômicas. Assim, este nível trata do que não pode ser observado a olho nu, nem com microscópios, mas é criado por meio de diversas evidências e técnicas que ajudam a compreender os fenômenos e a explicá-los. A Química no nível simbólico refere-se tanto a representações simbólicas de átomos e moléculas, quanto a símbolos químicos, fórmulas, equações e estruturas (WU, KRAJCIK, e SOLOWAY, 2001).

A Química, por ser uma Ciência que trata de fenômenos que ocorrem com espécies atômicas e subatômicas as quais são representadas em nível submicroscópico, é totalmente baseada em modelos. Dori e Barak (2001) definem que “um modelo pode ser visto como um intermediário entre a abstração da teoria e as ações concretas de um experimento”. Para que ocorra um aprendizado, com significado para o aluno, é necessário que o estudante tenha estruturas mentais que o permitam abstrair e compreender a ideia do modelo, sem deixar de lado o fato de que o mesmo serve para explicar um fenômeno que não pode ser visto, mas que possui várias evidências que argumentam a favor dele.

A Química também utiliza uma linguagem própria para a representação do real e as transformações químicas, como os nomes e símbolos utilizados para representar os elementos, as equações químicas, as representações de moléculas, etc. A memorização indiscriminada de símbolos, fórmulas e nomes de substâncias não contribui para o desenvolvimento de competências e habilidades desejáveis no Ensino Médio (BRASIL, 2002), além de tornar a Química uma disciplina cansativa, entediante e de difícil compreensão.

Tem sido constatado que os estudantes apresentam dificuldades em compreender as representações em Química (BEN-ZVI, EYLON e SILBERSTEIN, 1987; EICHLER e DEL PINO, 2000). Ben-Zvi, Eylon e Silberstein (1987) relatam que “as compreensões microscópica e simbólica são especialmente difíceis para os estudantes porque são invisíveis e abstratas e o pensamento dos alunos é construído sobre a informação sensorial”. Portanto, é recomendável trabalhar inicialmente com informações observáveis, no nível macroscópico, para depois abordar os conceitos utilizando modelos, promovendo discussões em nível submicroscópico.

Espera-se que, no Ensino Médio, o aluno esteja plenamente desenvolvido e já tenha a capacidade de abstrair conceitos não concretos. No entanto, estudos mostram que isso não tem acontecido. Investigações foram realizadas para saber como alunos do primeiro ano de um curso de Química interpretam o mundo submicroscópico (NICOLL, 2003). Os resultados mostraram que esses alunos não compreendem representações de átomos, íons e moléculas como se espera. Sua interpretação submicroscópica difere bastante da de um especialista em Química.

Por isso, é de suma importância que o professor introduza em sua prática de ensino metodologias que proporcionem aos estudantes formas de relacionar os níveis simbólico, macroscópico e submicroscópico. O emprego de modelos moleculares físicos pode representar uma estratégia a ser utilizada para auxiliar a alcançar este objetivo.

Referencial Teórico

Existem várias definições sobre o conceito de modelo mental e Moreira (1996) defende que uma das definições mais abrangentes é a apresentada por Johnson-Laird (1983). A teoria sobre modelos mentais é relevante na psicologia cognitiva e foi empregada como referencial teórico neste trabalho.

Johnson-Laird (1983) define que modelos mentais consistem em representações internas de fenômenos ou conceitos. Borges (1997, p. 209) relata que os “*modelos mentais são usados para caracterizar as formas pelas quais as pessoas compreendem os sistemas físicos com os quais interagem*”. Portanto, na compreensão de conceitos químicos, os modelos mentais correspondem a reconstruções mentais sobre os conceitos ou fenômenos em estudo. Os modelos mentais possuem um papel central na compreensão e na representação de conceitos e sequências de eventos, permitem fazer previsões e compreender fenômenos. O autor aponta também que um modelo mental pode ser decomposto em elementos, que podem ser analisados de forma distinta.

Podem existir diversos modelos mentais que representam conceitos ou fenômenos de forma adequada (JOHNSON-LAIRD, 1983). Em uma mesma sala de aula é possível encontrar diversos e diferentes modelos mentais sobre a estrutura atômica, de forma que parte deles representem o conceito de forma inadequada, e outros façam a representação de maneira adequada. Norman (1983) aponta que os modelos mentais possuem as seguintes características gerais: são incompletos e instáveis, pois as pessoas esquecem detalhes dos modelos; conceitos e operações semelhantes são confundidos; a habilidade em executar seus modelos geralmente é limitada; refletem as crenças das pessoas sobre um conceito em estudo e são econômicos, ou seja, tendem a ser o mais simples possível. Portanto, é comum encontrar, em pesquisas sobre modelos mentais de estudantes, modelos confusos e incompletos.

Norman (1983) revela que os modelos mentais das pessoas estão em constante evolução. Os modelos mentais são construídos por meio da interação com o sistema estudado. Os modelos mentais não devem necessariamente ser precisos, mas devem ser funcionais. Segundo o autor, a eficiência dos modelos é limitada principalmente pelo conhecimento prévio sobre conceitos, fenômenos e experiência prévia em sistemas semelhantes. Diante de conceitos químicos abstratos como a geometria molecular, o uso de recursos como modelos moleculares pode contribuir para a evolução dos modelos mentais de estudantes sobre esse conceito.

Modelos moleculares no Ensino de Química

Um dos tópicos abordados no ensino de Química que os alunos apresentam muita dificuldade de aprendizado é geometria molecular. É muito difícil para os alunos compreender a geometria das moléculas com base no modelo atômico atual que considera a distribuição dos elétrons nos orbitais – principalmente na camada de valência. Por isso, tem-se investido muito na criação de modelos – físicos e virtuais – para o ensino de geometria molecular (BATEMAN, *et al.*, 2002).

Sebata (2006) aponta que os estudantes possuem dificuldades sobre o conceito de geometria plana e espacial, o que resulta em problemas de compreensão sobre o conceito de geometria molecular. O autor defende que imagens sejam empregadas tanto para o ensino de geometria plana e espacial quanto para geometria molecular, para promover melhorias na compreensão sobre esses conceitos pelos estudantes.

O emprego de modelos físicos tem auxiliado os alunos a relacionar os níveis de representação submicroscópico e macroscópico. No entanto, algumas dificuldades impedem que muitos alunos tenham acesso a esses modelos. Uma delas é o alto custo da maior parte dos modelos

físicos. A grande maioria dos professores das escolas públicas e, principalmente, dos alunos, não possuem condições financeiras para a aquisição de modelos como esses. Além disso, quando o professor possui um modelo para demonstração, seu tamanho reduzido geralmente impede que os alunos possam ter uma visão adequada da molécula representada.

O uso de modelos moleculares alternativos no ensino de Química não é recente. Appelt, Oliveira e Martins (2009) estudaram o histórico dos modelos moleculares e constataram que em 1929 pesquisadores já utilizavam rolhas de cortiça e bastões de vidro para construir modelos alternativos e discutir estereoisômeros. Em 1941, foi proposto um modelo utilizando bolas de madeira e botões de pressão. Outro modelo foi proposto em 1957 com cera para moldar as representações dos átomos e palitos de madeira para as ligações químicas. Em 1959, foi proposto um modelo com esferas de borracha ligadas a bolas também de borracha. Um modelo proposto em 1964 consistia em representações do esqueleto carbônico feitas apenas com metal. Em 1990, é proposto um modelo construído com papel na forma de poliedros que representam as geometrias moleculares (APPELT, OLIVEIRA e MARTINS, 2009).

Lima e Lima Neto (1999) apontam que os modelos moleculares construídos com materiais alternativos podem apresentar diversas vantagens e desvantagens, em relação à durabilidade, custo, ângulos ou configurações espaciais. Os autores relatam que existem diversos tipos de modelos alternativos, construídos com bolas de isopor e palitos, canudos de bebida, bexigas de borracha, arame e bolas de isopor com canudos, alfinetes e arames.

Existe uma proposta para a construção de um modelo molecular fabricado com garrafas PET e tubos condute flexíveis (MATEUS e MOREIRA, 2005). Apesar da simplicidade da proposta, o modelo permite representar a maior parte das moléculas orgânicas e modelos de moléculas bastante complexas, como a do fulereno. Vários fatores são vantajosos no uso desse modelo, como a possibilidade de montar um número elevado de tipos de moléculas; o custo é bastante reduzido, pois é produzido com materiais que são obtidos facilmente entre os resíduos domésticos da maioria das casas – no caso das garrafas PET - e em lojas de materiais de construção – no caso dos tubos. Além disso, o modelo pode ser construído pelos próprios alunos. Isso pode promover motivação nos alunos e privilegiar o trabalho em grupo, trazendo a necessidade de cooperação entre os estudantes. Geralmente quando os alunos trabalham em grupo, eles demonstram maior rendimento do que os que trabalham sozinhos (SHACHAR e FISCHER, 2004).

Os modelos moleculares construídos com garrafas PET já foram utilizados para discutir estruturas moleculares, sobre polímeros e questões ambientais e sociais ligadas ao uso de plásticos na sociedade e promover uma conscientização, formando cidadãos (JESUS, *et al.*, 2013; BRAGA, *et al.*, 2010). Os modelos produzidos com garrafas PET foram empregados para ensinar isomeria do tipo *cis-trans* para alunos do Ensino Médio (SILVA e CRESPO, 2016).

Diante do contexto apresentado, é importante que se busquem novos meios de ensinar Química aos alunos do Ensino Médio, e principalmente métodos que ajudem os alunos a construir modelos mentais que promovam a compreensão dos conceitos em nível simbólico e submicroscópico.

Questão de Pesquisa

Diante do contexto apresentado, as seguintes questões de pesquisa orientaram o trabalho:

A compreensão sobre geometria molecular dos estudantes do Ensino Médio é melhorada quando eles lidam com modelos moleculares alternativos?

Ocorre alguma melhoria na compreensão dos estudantes sobre o nível simbólico quando eles manipulam modelos moleculares alternativos?

Objetivos

O presente trabalho teve o objetivo de analisar como os estudantes do Ensino Médio aprendem sobre o conceito de geometria molecular em nível simbólico, quando utilizaram um modelo molecular físico alternativo, construído com garrafas PET e tubos conduíte.

Outro objetivo foi analisar se haveria cooperação durante o processo de construção dos modelos moleculares.

Metodologia

Inicialmente, foi realizado um levantamento dos conhecimentos prévios de 12 alunos do 3º ano do Ensino Médio (EM) de uma escola pública do município de São Carlos/SP sobre geometria molecular. Os alunos foram convidados a participar do projeto na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) durante os sábados. A série (3º ano do EM) foi escolhida na tentativa de se garantir que os alunos já tivessem estudado o assunto em séries anteriores.

O projeto foi desenvolvido em quatro encontros realizados aos sábados, com duração de 2 horas cada. O levantamento dos modelos prévios dos estudantes foi realizado em forma de um pré-teste que envolveu a solicitação para os alunos desenharem 5 fórmulas moleculares. Cada uma das moléculas possuía uma das seguintes geometrias: linear (CO_2), angular (H_2O), trigonal plana (BF_3), piramidal (NH_3) e tetraédrica (CH_4). Os alunos deveriam representar a geometria desses compostos no papel.

Segundo Moreira (1996), para realizar um estudo sobre os modelos mentais dos alunos, é preciso investigar os modelos expressos pelos alunos, seja verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente. Portanto, o uso de testes escritos com ou sem imagens pode ser proposto em uma investigação sobre modelos mentais. E para estudar a compreensão dos alunos sobre o conceito de geometria molecular e sobre a linguagem química, foram utilizados questionários com a solicitação para os alunos desenharem as moléculas, com representações do nível simbólico.

Os estudantes construíram os modelos com garrafas PET, conduítes flexíveis e tubos plásticos utilizados no armazenamento de rolos de filmes fotográficos. Cada representação de átomo utilizava quatro garrafas PET, que deveriam ser cortadas à distância de 8 centímetros da boca. Então o interior dessa parte da garrafa era pintado com tinta guache da cor desejada. Após a secagem, as quatro peças eram encaixadas de forma que as bocas formassem pontas de um tetraedro, e fixadas com rebite (MATEUS e MOREIRA, 2005). As cores utilizadas foram preto, vermelho e azul para representar, respectivamente, átomos de carbono, oxigênio e nitrogênio.

Foram utilizados eletrodutos (popularmente conhecidos como conduítes) para representar as ligações químicas. Embalagens de filmes fotográficos foram utilizadas para representar átomos de hidrogênio. Tanto o tubo conduíte como a embalagem de filme fotográfico encaixam facilmente na boca da garrafa PET. A figura 1 mostra a foto de uma representação da molécula de dióxido de carbono (CO_2) feita com os modelos utilizados no trabalho:



Figura 1. Modelo da molécula de dióxido de carbono. As peças de PET vermelhas representam os átomos de oxigênio e a preta representa o átomo de carbono. Os tubos de conduíte representam as ligações químicas.

O curso foi desenvolvido por meio de aulas teóricas, com o auxílio de lousa e giz, resolução de exercícios e uso dos modelos moleculares produzidos. Ao final do curso, foi dado aos alunos um pós-teste estruturado da mesma forma como o pré-teste, mas com as seguintes fórmulas moleculares: Cl_2 , H_2S , SO_3 , PF_3 e CHCl_3 . Os modelos expressos foram analisados de acordo com os seguintes elementos relevantes (JOHNSON-LAIRD, 1983) para o conceito de geometria molecular: fórmula molecular; ligações químicas, tridimensionalidade e a geometria molecular. Foi analisado se nos modelos as fórmulas moleculares estavam representadas de maneira adequada; se foram representadas ligações simples ou duplas de acordo com a molécula e se a geometria molecular é adequada. O curso iniciou com 12 alunos e ao seu final, 9 estudantes o concluíram.

Resultados e discussão

Nos dois primeiros dias do curso os alunos construíram os átomos com as garrafas PET. Eles trabalharam em pequenos grupos de 3 a 4 estudantes. Cada grupo tinha uma função específica: um marcava as garrafas PET na localização correta do recorte, outro realizava os cortes nas regiões indicadas, outro grupo pintava as peças já recortadas e por fim, outro rebitava as quatro peças e montava a representação do átomo. As cores dos átomos foram pré-definidas, e cada cor representava um elemento. Por exemplo, as esferas pintadas de preto representaram os átomos de carbono, as vermelhas representaram os oxigênios e assim por diante.

Durante todo o curso os alunos participaram com elevado empenho e atenção. Na fase de produção dos modelos o envolvimento dos alunos foi grande, e eles se organizaram praticamente sozinhos na realização das tarefas, assim que elas foram definidas. Os grupos foram formados pelos próprios estudantes, por afinidade, o que ajudou bastante na interação e participação durante as aulas. A figura 2 mostra uma foto dos grupos durante o processo de produção dos modelos.



Figura 2. Atuação dos grupos na produção dos modelos.

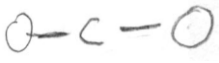
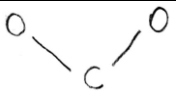
A etapa de fabricação dos modelos foi relevante para o desenvolvimento das atividades, uma vez que houve uma intensa colaboração entre os estudantes. Isso contribuiu para o entrosamento entre eles e para a melhoria do ambiente durante a realização do minicurso, uma vez que os alunos não eram da mesma sala de aula na escola. Cabe salientar que essa etapa do trabalho pode ser realizada fora do horário de aula, como atividade extra-classe, pois é necessário um elevado tempo na produção dos modelos e a carga horária semanal da disciplina de Química na maioria das escolas é baixa. Também é possível trabalhar como atividade em parceria com o professor de Arte e fazer uma atividade multidisciplinar.

Nos demais encontros, os modelos construídos foram utilizados para a discussão das geometrias das moléculas. Os alunos foram orientados a definir a geometria de cada molécula dada por meio da Teoria da Repulsão dos Pares Eletrônicos da Camada de Valência (TRPECV). Para isso, foi ensinada a TRPECV e trabalhada em conjunto com os modelos construídos para prever a geometria de algumas moléculas. Então, os alunos foram divididos em grupos de 3 estudantes, que trabalharam juntos na determinação da geometria de moléculas de compostos sugeridos pelos pesquisadores. Utilizando os modelos e os conceitos da TRPECV, os grupos desenharam as geometrias de cada molécula no papel. Após este período, um representante de cada grupo foi convidado a ir até a lousa e desenhar a representação que o grupo havia feito. Então, era solicitado que cada grupo construísse a molécula com os modelos físicos e comparasse com a representação em papel. Foram estudadas moléculas que possuem geometria linear, angular, trigonal plana, piramidal e tetraédrica.

No último encontro, os modelos físicos não foram utilizados e foi entregue aos alunos um pós-teste com as mesmas características do pré-teste, no entanto, com moléculas diferentes. O pós-teste teve a finalidade de avaliar a aprendizagem dos estudantes sobre o conteúdo de geometria molecular.

Com o pré-teste, foi observado que os alunos não possuíam uma visão tridimensional da geometria das moléculas representadas. A tabela 1 apresenta as representações da molécula de CO_2 feitas pelos alunos.


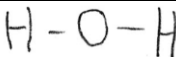
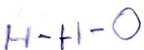

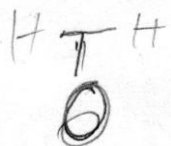
Tabela 1. Representações dos alunos para a molécula de dióxido de carbono (CO_2) no pré-teste.

Representação	Número de alunos	Porcentagem (%)
	10	83
	2	17

Mediante os dados da tabela 1, percebe-se que a maior parte dos alunos (83%) propõe um modelo em que a molécula de CO_2 é linear. No entanto, eles não consideraram que as ligações entre os átomos de carbono e oxigênio são duplas. Uma parte dos alunos (17%) considerou a molécula de CO_2 angular, o que evidencia um modelo inadequado sobre a geometria dessa molécula. Além disso, eles também consideraram que as ligações entre átomos de carbono e oxigênio são lineares.

Na tabela 2 são apresentadas as representações da molécula de água (H_2O) feitas pelos alunos.

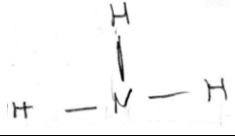
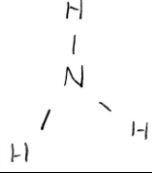
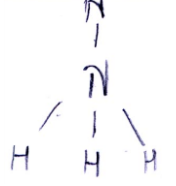
Tabela 2. Representações dos alunos para a molécula de água (H_2O) no pré-teste.

Representação	Número de alunos	Porcentagem (%)
	5	42
	4	34
	1	8
	1	8
	1	8

Com a análise dos dados da tabela 2, percebe-se que apesar de a maior parte dos alunos (42%) apresentar um modelo em que a geometria da molécula de água é angular, parte significativa deles apresentou modelos equivocados sobre o conceito, pois 34% dos alunos visualizava a molécula da água com geometria linear, e 24% deles representaram modelos distantes da representação mais aceita sobre a geometria dessa molécula.

Na tabela 3 são apresentadas as representações da molécula de amônia (NH_3) feitas pelos alunos no pré-teste.


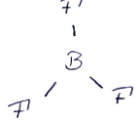
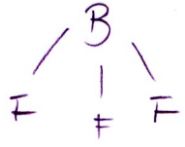
Tabela 3. Representações dos alunos para a molécula de amônia (NH_3) no pré-teste.

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	8	67
	3	25
	1	8

Por meio dos dados da tabela 3, observa-se que a maior parte dos alunos (67%) imagina a molécula de amônia com geometria em forma de “T”. Cerca de 25% deles apresentou essa molécula com geometria trigonal plana, sem considerar os elétrons não ligantes. Um dos alunos representou a molécula da forma mais correta, mas, por algum motivo desconhecido não obedeceu a fórmula molecular e acrescentou mais um átomo de nitrogênio, alterando a fórmula química da amônia. Portanto, como Norman (1983) aponta, em pesquisas sobre modelos mentais surgem à tona modelos confusos e inadequados.

A tabela 4 apresenta as representações da molécula de trifluoreto de boro (BF_3) feitas pelos alunos durante o pré-teste.

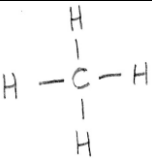
Tabela 4. Representações dos alunos para a molécula de trifluoreto de boro (BF_3) no pré-teste.

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	8	67
	3	25
	1	8

As representações da molécula de BF_3 feitas pelos alunos foram muito parecidas com as representações da amônia. A maior parte dos alunos (67%) imagina a molécula em forma de “T” e 25% deles como trigonal plana, assim como para a amônia. Somente um aluno representou essa molécula com a geometria piramidal, apesar de não empregar os símbolos que indicam a tridimensionalidade da molécula. Portanto, a maior parte dos estudantes teve dificuldade com essa geometria e apresentaram modelos inadequados para o BF_3 .



A tabela 5 apresenta as representações da molécula de CH_4 feitas pelos alunos no pré-teste.

Tabela 5. Representações dos alunos para a molécula de metano (CH_4) no pré-teste.

Representação	Número de alunos	Porcentagem (%)
	12	100



Todos os alunos expressaram um modelo de molécula de metano como um quadrado planar. Em nenhuma das representações é possível constatar que os alunos expressaram modelos que incluem a tridimensionalidade dessas moléculas.

Após a produção dos modelos moleculares, foi lembrado aos alunos como definir a geometria de uma molécula por meio da TRPECV. Os alunos deveriam definir as geometrias através de 4 etapas: (1) fazer a distribuição de Lewis, (2) verificar o número de pares eletrônicos ligantes e não ligantes, (3) definir a estrutura mais provável considerando a TRPECV e (4) colocar os demais átomos em volta do átomo central (SHRIVER & ATINS, 2008). Feito isso, um aluno de cada grupo apresentou na lousa sua representação. Depois, cada grupo construiu a molécula com os modelos para verificar suas previsões.

Ao montar a molécula de amônia, os estudantes ficaram em dúvida sobre como representar os átomos que não ficavam no plano do papel ou da lousa. Então, foram apresentados a eles os símbolos  e , que representam os átomos que estão para frente e para trás do plano, respectivamente. Durante dois encontros, os alunos fizeram as geometrias dessa maneira. Então, ao final do curso, os estudantes fizeram o pós-teste.

A tabela 6 apresenta as representações da molécula de Cl_2 feitas pelos alunos no pós-teste.

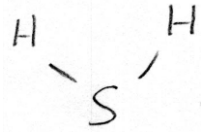

Tabela 6. Representações dos alunos para a molécula de gás cloro (Cl_2).

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	8	89
	1	11

A maior parte dos alunos foi capaz de prever a geometria correta da molécula, além de prever que a ligação $\text{Cl}-\text{Cl}$ é simples. Apenas um aluno imaginou a ligação $\text{Cl}=\text{Cl}$ como uma dupla, o que indica que ele não utilizou a TRPECV corretamente para construir a estrutura da molécula. Houve avanço nos modelos dos alunos sobre a geometria linear, pois no pós-teste todos os estudantes expressaram um modelo adequado em relação a geometria molecular, enquanto no pré-teste, dois estudantes representaram o dióxido de carbono como angular.

A tabela 7 apresenta as representações da molécula de ácido sulfídrico (H_2S) feitas pelos alunos no pós-teste.


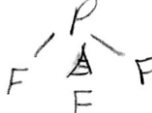

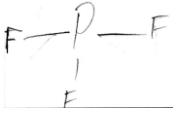

Tabela 7. Representações dos alunos para a molécula de ácido sulfídrico (H_2S) no pós-teste.

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	8	89
	1	11

Mediante a tabela 7, percebe-se que a maior parte dos alunos conseguiu expressar um modelo adequado sobre a geometria molecular do ácido sulfídrico (H_2S), que é angular. Apenas um aluno concluiu que a molécula era linear. Esse aluno provavelmente não utilizou a TRPECV corretamente para construir a representação da molécula. Houveram avanços em relação a compreensão da geometria angular, pois no pré-teste, seis alunos apontaram que a água tem geometria linear e, ainda, um dos alunos fez uma proposta totalmente inadequada.

A tabela 8 apresenta as representações da molécula de PF_3 feitas pelos alunos no pós-teste.

Tabela 8. Representações dos alunos para a molécula de PF_3 no pós-teste.

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	3	34
	1	11
	1	11
	2	22
	2	22

As duas primeiras representações apresentadas na tabela 8 são consideradas corretas. O que mostra que 45% dos alunos expressaram um modelo adequado da molécula de PF_3 . Esses alunos utilizaram representações de ligações químicas que saem e que entram no plano do papel, o que demonstra que eles compreendem a tridimensionalidade da molécula. A terceira representação da tabela também apresenta uma geometria piramidal, apesar de não demonstrar caráter tridimensional. A quarta e quinta representações apresentam estruturas em forma de “T”.

Apesar dos avanços durante o minicurso, quase 50% dos alunos continuaram cometendo no pós-teste o mesmo erro apresentado para as geometrias piramidal e trigonal plana no pré-teste. Os

alunos não representaram os elétrons não ligantes e provavelmente não utilizaram de forma adequada a TRPECV para construir os seus modelos. Assim, mesmo com o uso dos modelos moleculares alternativos, os estudantes tiveram dificuldades e expressaram modelos inadequados e confusos em relação à geometria piramidal.

A tabela 9 apresenta as representações da molécula de SO_3 feitas pelos alunos no pós-teste.

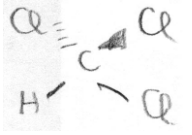
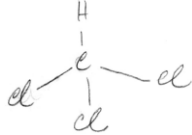
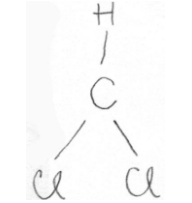

Tabela 9. Representações dos alunos para a molécula de trióxido de enxofre (SO_3) no pós-teste.

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	1	11
	1	11
	3	34
	1	11
	2	22
	1	11

Nas representações da tabela 9 observou-se que seis alunos (67%) representaram corretamente a geometria da molécula de SO_3 . Desses, apenas um representou corretamente as ligações coordenadas com flechas (linha 1 da tabela 9), como foi trabalhado durante o curso. Um aluno representou apenas uma das ligações coordenadas com a flecha. Três alunos não representaram as ligações coordenadas e um aluno não representou a dupla ligação com um dos átomos de oxigênio. Dois alunos representaram corretamente uma ligação dupla e as duas ligações coordenadas; no entanto, a geometria prevista por eles foi em forma de “T”. Um dos alunos representou a molécula com geometria piramidal. Apesar de alguns equívocos, os alunos apresentaram bom desempenho na representação dessa molécula. Principalmente, se considerado o grau de dificuldade de representação dela em relação às outras do teste. Quando comparado com o pré-teste, é possível avaliar que houve avanços nos modelos dos estudantes sobre a geometria molecular trigonal plana. Estes resultados sugerem que o uso combinado dos modelos físicos com a aplicação da TRPECV contribuiu para uma melhora significativa nos modelos mentais dos alunos em relação a moléculas com geometria piramidal.

Pode-se observar na tabela 10 as representações da molécula de CHCl_3 feitas pelos alunos durante o pós-teste.

Tabela 10. Representações dos alunos para a molécula de CHCl_3 .

Representações	Número de alunos	Porcentagem (%)
	6	66,67
	1	11,11
	1	11,11
	1	11,11

Na tabela 10, observou-se que 67% dos alunos fizeram a previsão correta da geometria tetraédrica da molécula de CHCl_3 . Esse é um resultado bastante significativo, visto que no pré-teste nenhum aluno conseguiu representar corretamente essa geometria.

Nenhum dos demais alunos representou, no pós-teste, a geometria tetraédrica da mesma forma que no pré-teste. Três alunos representaram a geometria do CHCl_3 de forma inadequada. A quarta representação da tabela 10 demonstra que o estudante tem bastante dificuldade com a simbologia da Química. É importante ressaltar que esse aluno é o mesmo que representou a molécula de Cl_2 com uma dupla ligação, a molécula de H_2S com geometria linear e fez a representação apresentada na linha 6 da tabela 2 (molécula da água). Aparentemente, esse aluno ainda apresenta considerável dificuldade com a simbologia química, e é uma exceção frente aos outros que participaram do curso.

De forma geral, observou-se grande evolução nos modelos dos estudantes sobre o conceito de geometria molecular. A participação dos alunos na construção dos modelos físicos com materiais recicláveis e de baixo custo contribuiu para a motivação dos alunos na participação do curso. Os resultados sugerem que o uso combinado da TRPECV e dos modelos físicos produzidos resultou na evolução dos modelos mentais dos estudantes, bem como na melhora da relação dos estudantes com a linguagem simbólica da Química. Um tempo maior de curso poderia resultar na melhora do rendimento dos alunos que tiveram um avanço menor. No entanto, uma vez que o curso foi realizado aos sábados, e os alunos vieram espontaneamente, o aumento no período do curso poderia resultar em uma evasão, motivo pelo qual foi mantido o planejamento inicial de 4 encontros.

Foi observada também dificuldade na representação de moléculas com geometria piramidal. Esse problema de compreensão pode ser atribuído à dificuldade de empregar a TRPECV na

construção das representações das moléculas, em especial sobre a representação dos pares de elétrons não ligantes. Também há que se considerar que não foram avaliados os conhecimentos de geometria analítica dos alunos participantes, embora seja bem conhecida a dificuldade que estudantes de Ensino Médio apresentam em relação aos conceitos matemáticos.

Considerações finais

O modelo molecular desenvolvido com garrafas PET possui vantagens e desvantagens. As desvantagens estão relacionadas com o tempo para construção, que é relativamente elevado e com o espaço necessário para armazenar os modelos. As vantagens estão relacionadas ao custo baixo e os materiais de fácil acesso usados para a sua construção; a alta durabilidade dos modelos; os ângulos adequados em relação às ligações químicas; o tamanho dos modelos, que permite até o uso de forma demonstrativa pelo professor, para apresentar conceitos para uma sala de aula. Cabe ao professor selecionar que tipo de modelo molecular é o mais adequado para a sua proposta didática e seu contexto escolar.

A produção de modelos moleculares pelos alunos proporcionou um resultado positivo quanto ao trabalho em equipe e uma significativa participação dos alunos nas atividades. Durante sua produção, criou-se na turma uma relação de companheirismo e descontração, tornando o ambiente mais familiar para os alunos. Este fator permitiu que eles expressassem suas dúvidas e opiniões com mais facilidade durante as atividades didáticas desenvolvidas posteriormente.

A combinação da TRPECV e do uso do modelo molecular alternativo proporcionou avanços nas ideias dos estudantes sobre a geometria molecular. Houve intensas melhorias nas compreensões sobre as geometrias linear, angular, trigonal plana e tetraédrica. Houve significativa dificuldade para compreender a geometria piramidal, mesmo após o uso do modelo. Este ponto é compreensível, lembrando que os modelos mentais dos alunos geralmente são limitados, incompletos, instáveis e com baixo grau de detalhes (NORMAN, 1983). No entanto, um período maior de curso e mais oportunidades de os alunos trabalharem com o material, poderiam contribuir na melhora do desenvolvimento de modelos mentais sobre a geometria piramidal, uma vez que foi observada participação ativa dos estudantes durante as aulas.

Em ambiente escolar seria interessante envolver, na medida do possível, o professor de matemática com o ensino de geometria molecular, mesmo que para uma breve revisão de conceitos relacionados à geometria analítica.

Como implicação para o Ensino de Química, o uso dos modelos moleculares possui grande potencial na contribuição dos avanços na compreensão da geometria molecular dos estudantes e também sobre as representações em nível simbólico da Química. Dessa forma, é interessante empregar os modelos moleculares alternativos para auxiliar no desenvolvimento dos modelos mentais de estudantes sobre o conceito de geometria molecular.

Referências

- Appelt, H.R.; Oliveira, J.S. de & Martins, M.M. (2009). Modelos moleculares: passado e presente. *Experiências em Ensino de Ciências*, 4(3), 7-16.
- Bateman, R.C.; Booth, D.; Sirochman, R.; Richardson, J. & Richardson, D. (2002). Teaching and Assessing Three-Dimensional Molecular Literacy in Undergraduate Biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 79(5), 551-552.

- Ben-Zvi, R.; Eylon, B. & Silberstein, J. (1987). Student's visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 17, p. 120.
- Borges, A.T. (1997). Um estudo de modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), 207-226.
- Braga, C.F., Melo, V.R.M., Pontieri, M.H. & Weber, K.C. (2010). *Construção de modelos moleculares com garrafas PET: ensinando química e promovendo a consciência ambiental*. In: XV Encontro Nacional de Ensino de Química – DF, Brasília: 2010. Atas... Brasília: Instituto de Química da Universidade de Brasília.
- Brasil (2002). Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Secretaria de Educação Média e Tecnológica, Brasília.
- Dori, Y.J. & Barak, M. (2001). Virtual and Physical Molecular Modeling: Fostering Model Perception and Spatial Understanding. *Educational Technology & Society*, 4(1), 61-74.
- Eichler, M. & Del Pino, J.C. (2000). Computadores em Educação Química: Estrutura Atômica e Tabela Periódica. *Química Nova*, 23(6), 835-840.
- Jesus, C.A.F., Pinheiro, T.F., Lima, R.M. & Marcelino, V.S. (2013). *Modelos moleculares construídos com garrafas PET como recurso em aulas de Química*. In: 53º Congresso Brasileiro de Química – RJ, Rio de Janeiro: 2013. Atas... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Química.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models: towards a cognitive Science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Johnstone, A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70 (9), 701-705.
- Johnstone, A.H. (2000). Chemical education research: where from here? *University Chemistry Education*, 4(1), 34-38.
- Lima, M.B. & Lima Neto, P. de (1999). Construção de modelos para ilustração de estrutura moleculares em aulas de Química. *Química Nova*, 22(6), 903-906.
- Mateus, A.L. & Moreira, M.G. (2005). *Construindo com PET: Como ensinar truques novos a garrafas velhas*. Belo Horizonte: Fundação Ciência Jovem.
- Moreira, M.A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232.
- Nicoll, G. (2003). A Qualitative Investigation of Undergraduate Chemistry Students' Macroscopic Interpretations of the Submicroscopic Structure of Molecules? *Journal of Chemical Education*, 80(2), 205-213.
- Norman, D.A. (1983) Some observations on mental models. In: GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (Eds.). (pp. 6-14). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sebata, C.E. (2006) Aprendendo a imaginar moléculas: uma proposta de ensino de geometria molecular. 167 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- Silva, K.R. & Crespo, L.C. (2016). *Uso de modelos moleculares confeccionados com garrafas PET para o ensino de isomeria cis-trans no ensino médio*. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química – SC, Florianópolis: 2016. Atas... Florianópolis: Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Shriver, D.F. & Atkins, P.W. (2008). *Química inorgânica*. 4ª Ed. Porto Alegre: Bookman.

Shachar, H. & Fischer, S. (2004). Cooperative Learning and the Achievement of Motivation and Perceptions of Students in 11th Grade Chemistry Classes. *Learning and Instruction*, 14, 69-87.

Wu, H.K.; Krajcik, J.S. & Soloway, E. (2001). Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-840.