

Uso de um software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica: um estudo de caso baseado na teoria de mediação cognitiva

Daniele Raupp¹, Agostinho Serrano¹, Tales Leandro Costa Martins² e Bruno Campello de Souza³

¹Universidade Luterana do Brasil, Brasil. Emails: dtraupp@gmail.com; asandraden@gmail.com. ²Universidade Federal do Pampa, Brasil. Email: taleslcm@gmail.com. ³Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Email: bcampello@uol.com.br.

Resumo: Neste artigo, é realizada uma investigação com estudantes de nível médio utilizando *softwares* de construção de modelos moleculares para o estudo e a compreensão de isomeria. Estas ferramentas favorecem o pensamento visuoespacial, tanto 2D como 3D e podem auxiliar o estudante na diferenciação dos isômeros. É utilizado o aporte da Teoria da Mediação Cognitiva (TMC), que tenta explicar o crescimento da capacidade cognitiva de estudantes em contato com computadores ao analisar a cognição em termos de processos intra- e extra- cerebrais. Os resultados indicam que, cognitivamente, os estudantes aparentam adquirir a habilidade de representar (tanto internamente como externamente) espécies moleculares mais efetivamente com ganhos cognitivos visuoespaciais mesmo após o uso do *software*. Dessa forma, é possível afirmar que o uso destes softwares deve ser incentivado em salas de aula.

Palavras-chave: simulações computacionais, isomeria, teorias de cognição e aprendizagem, representações.

Title: Use of a molecular model building software in the teaching of geometric isomers: a case study based on the mediation cognitive theory.

Abstract: In this article, it is performed an investigation with high school students using a molecular model building software to the study and comprehension of isomers. Those software help enhancing the visuospatial thinking, both in 2D and 3D and help the student differentiating isomers. It is used the Theory of Cognitive Mediation (TCM), that tries to explain the growth of the student's cognitive capacity when in touch with computers, analyzing cognition in terms of intra and extra cerebral processes. Results so far can be viewed as indicating that, cognitively, the students apparently can acquire the ability to represent molecular species more effectively (both internally and externally) with cognitive gains, even after the use of the software. Therefore, it is proposed that the use of those software should be stimulated in classroom.

Keywords: computer simulations, isomers, theories of cognition and learning, representations.

Introdução

A investigação do aprendizado de conceitos científicos com o auxílio de recursos das tecnologias de informação e comunicação (TICs) tem sido destaque nos últimos anos. Em especial, dentro do aprendizado de conceitos químicos, um foco importante (Wu e Shah, 2004) tem sido dado ao papel que representações computacionais podem oferecer ao aprendizado do que Gabel (1984) chamou de nível microscópico de um fenômeno químico. Vários são os tópicos dentro da química cujo aprendizado pode se beneficiar do uso de software computacional, dentre eles, a Isomeria.

Escolhemos, para esta investigação, o tópico específico de Isomeria Geométrica ou Cis-Trans (Estereoisomeria) – onde os isômeros possuem mesma fórmula molecular e fórmula espacial diferente devido, principalmente aos seguintes fatores:

a) Por ser mais “sutil” a diferenciação entre os Isômeros. Esta “sutileza” pode ser compreendida se observarmos que experts em química utilizam naturalmente diversos tipos de representações (Wu et al., 2001), fato não observado em todos os estudantes. Isomeria é um fenômeno que é ensinado e compreendido dentro do nível de representação microscópico, segundo a classificação de Gabel (1984). A representação plana permite naturalmente a diferenciação entre Isômeros Planos, e estudantes em geral dominam esta representação.

b) A representação geométrica – essencial para a compreensão dos diferentes isômeros – não é dominada por todos os estudantes (Keig e Rubba, 1993); em especial a transição 2D (fórmula estrutural plana) para 3D (forma geométrica). Assim, a atividade poderá auxiliar os estudantes a desenvolverem a capacidade de representar tridimensionalmente as espécies químicas cis e trans.

c) Diferentes isômeros podem apresentar propriedades radicalmente diferentes e isto é um fator instrucional e motivacional importante para os estudantes. Como um exemplo, podemos citar a diferença entre o ácido butenodióico, que na sua forma trans é nomeado usualmente de ácido fumárico e na forma cis é denominado de ácido maleico. Estas duas formas têm propriedades físicas, químicas e até mesmo biológicas bastante distintas, respectivamente: sua solubilidade na forma cis é aproximadamente duas ordens de grandeza maior que na forma trans, a forma trans faz ligações de hidrogênio intermoleculares enquanto a forma cis faz intramolecular. Finalmente, a forma trans faz parte dos processos de produção celular de energia humana enquanto a forma cis é tóxica (Fonseca, 2001).

d) Os atuais softwares de representação molecular são capazes de formar imagens tridimensionais em que é possível se perceber claramente a diferença entre estes tipos de isômeros. Adicionalmente, muito destes softwares estão disponíveis livremente para estudantes de ensino médio e superior – sendo até mesmo distribuídos por professores.

Uma revisão na literatura em ensino de química indica que a estereoquímica é considerada "... um tópico conceitualmente difícil na química." (Pavlinic et al.; 2007). Segundo os autores,

"Computadores são uma plataforma particularmente atrativa para o ensino de estereoquímica por conta da possibilidade de gerar experiências interativas que modelam o mundo microscópico da molécula. É bem documentado que a compreensão e o desempenho em química, e em particular, estereoquímica, são fortemente relacionadas com a visualização 3D" (Pavlinic et al.; 2007).

"Visualizing the three-dimensional aspects of molecules and their relationships to other molecules is difficult. When dealing with principles that are particularly difficult to visualize or conceptualize, such as stereochemistry, teaching aids and mnemonic devices have been invaluable in the learning process." (Kurbanoglu et al., 2006).

Wu e Shah (2004) argumentam que "*Para investigar os fenômenos naturais através de idéias de átomos, moléculas e partículas subatômicas, os químicos desenvolveram uma variedade de representações, como modelos moleculares, estruturas químicas, fórmulas, equações e símbolos*". Conclui-se, portanto, que devam ser de importância para o aprendiz em química.

O objetivo desta pesquisa é investigar como ocorre a evolução da capacidade representacional de estudantes de química de nível médio após o uso de um software de construção de modelos moleculares (*molecular model building software*). Esta evolução é fundamentada no referencial da Teoria da Mediação Cognitiva, explicada abaixo, e basicamente envolve analisar quais estudantes apresentam uma melhor equilíbrio (em um sentido neo-piagetiano) entre elementos representacionais e seus invariantes já presentes em sua estrutura cognitiva e aqueles manipulados quando utilizam a ferramenta computacional. Sendo assim, espera-se compreender melhor, à luz deste referencial, quais processos cognitivos são modificados durante o uso de ferramentas computacionais no ensino de química, em particular, no tópico de Isomeria Geométrica.

Aporte teórico

A Teoria da Mediação Cognitiva (TMC) é uma perspectiva acerca da cognição humana a qual se propõe a servir de um modelo científico coerente da mente humana que venha a sintetizar as principais expectativas oriundas da Epistemologia Genética, da Teoria dos Campos Conceituais, do Sócio-Construtivismo e da Teoria Triárquica, incorporando os seus conceitos fundamentais de forma complementar (Campello de Souza, 2004; Campello de Souza; Roazzi, 2003a,b). É também um objetivo da TMC tentar explicar os impactos da introdução das novas tecnologias da informação e da comunicação na sociedade em termos das mudanças cognitivas e individuais resultantes de tal processo, algo ainda por ser realizado de forma satisfatória e difícil de ser realizado à luz das teorias cognitivas tradicionais (Papadakis e Collins, 2001; Tapscott, 1998).

Assim, propõe-se que seres humanos adquirem conhecimento acerca de objetos através da interação com eles e também por meio da ajuda de

estruturas no ambiente que fornecem capacidade de processamento adicional aos seus cérebros. Logicamente, isso requer uma combinação entre sistemas externos capazes de processamento de informação e mecanismos mentais internos que permitam o seu uso.

Os sistemas externos abrangem desde componentes brutos do mundo material até complexas estruturas sócio-culturais, incluindo também instrumentos e ferramentas diversos, tais como representações moleculares tridimensionais manipuláveis em um computador. Deles exige-se:

- a) Ordem estrutural e dinâmica análogas a uma lógica;
- b) Algum grau de automatismo no funcionamento;
- c) Possibilidade de controle externo de estados.

Os mecanismos mentais internos são essencialmente representações mentais ativas, contendo invariantes operatórios agregando conceitos, esquemas e competências (Vergnaud, 1997), funcionando como verdadeiros "drivers" de dispositivo, apresentando as seguintes características:

- a) Lógica análoga a um mecanismo externo;
- b) Sistema de representações sensoriais ou simbólicas;
- c) Ligação entre lógica/representações e mecanismo externo.

A Epistemologia Genética de Jean Piaget propõe que o desenvolvimento cognitivo do indivíduo humano é governado pela dinâmica da Equilibração, a qual envolve Assimilação (internalização de um padrão ou regularidade presente num determinado objeto ou sistema sob a forma de esquemas lógicos) e Acomodação (Piaget, 1977; Seminério, 1996) (transformação de um conjunto pré-existente de lógicas do pensamento em função da posterior assimilação de uma nova lógica). A TMC também utiliza a idéia de Equilibração quando o indivíduo está utilizando representações computacionais.

Assim, pode-se raciocinar que o processo de mediação apresenta um impacto decisivo sobre não apenas o conteúdo do pensamento, mas também a sua dinâmica, indicando a importância de estruturas externas ao indivíduo sobre a sua forma de pensar (Vygotsky, 1984). O uso da abordagem do processamento de informações e a adoção de pressupostos de mecanismos cognitivos constituídos de componentes modulares tornam o modelo em questão bastante semelhante a famosa Teoria Triárquica da Inteligência (Sternberg, 1984, 1988, 1991, 1999a,b), porém, enriquecida por uma visão que inclui redes extra-cerebrais complexas baseadas em objetos, artefatos, grupos sociais e culturas. Assim, é realizado um experimento objetivando identificar, de forma exploratória, a ocorrência dos mecanismos de processamento extra cerebral e sua posterior internalização na forma de representações moleculares utilizadas para resolver estruturas CIS e TRANS em isomeria.

Experimento

Dez estudantes de ambos os sexos do 4º ano do Curso Técnico de Química da Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha da

cidade de Novo Hamburgo-RS participaram de um curso de extensão, onde foi realizada a pesquisa. A Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha é reconhecida regionalmente como tendo uma qualidade educacional diferenciada, com cerca de 3.000 alunos matriculados, provenientes de mais de 50 municípios do Rio Grande do Sul, como de 42 anos de funcionamento. O curso em que foi desenvolvida a pesquisa é uma atividade extra-curricular, com um total de 20 horas de duração.

Materiais

- a) O programa de computador ChemSketch 10.0 da ACDLabs, um software gratuito de construção de modelos moleculares que facilita o aprendizado das características de alguns compostos orgânicos por meio de uma ferramenta visual dinâmica tanto em 2D como em 3D (ACD/ChemSketch Freeware, 2006);
- b) O programa Microsoft Word.
- c) Folhas de desenho, régua, canetas hidrográficas (azul, preta, vermelha e verde), lápis, canetas esferográficas, borracha e um conjunto de lápis de cor com 12 cores;

Método de coleta de dados

Um pré-teste de resolução de problemas (ver Anexo 1) onde os estudantes, sem ter tido contato com o software, deveriam representar determinados isômeros, a ser respondido utilizando os materiais fornecidos.

Um pós-teste (ver Anexo 2) semelhante ao pré-teste, a ser respondido sem o auxílio do software.

Método didático

O experimento iniciou-se com uma breve revisão sobre os conceitos dos tipos de isomeria, focando a isomeria espacial geométrica também denominada cis-trans. Após isso, foi aplicado o pré-teste (ver Anexo 1) para que os estudantes desenhassem pares de isômeros em 3D conforme os seus conhecimentos prévios.

Um fato importante a ser mencionado é que existem apenas dois casos onde ocorre a isomeria geométrica: em Alcenos e Cicloalcanos. Ambos os casos foram utilizados em todos os testes. Após realização deste teste, foram realizadas quatro sessões de instrução de quatro horas acerca de isomeria com o auxílio do programa ChemSketch 10.0. Para auxiliar na representação de moléculas-exemplo cuja complexidade representacional variava desde modelos simples até formas complexas, os alunos foram incentivados a interagir com as fórmulas planas e os seus respectivos modelos 3D exibidos no computador (ver Figura 1). O software em si é capaz, de forma autônoma, de construir a representação 3D de cada molécula a partir de sua forma estrutural plana. Após a construção de cada uma das moléculas acima, tanto a fórmula estrutural quanto a 3D foram transferidas para o Microsoft Word (Pacote Microsoft Office) para verificar a aplicabilidade do software na confecção de trabalhos, relatórios, artigos, etc. Todos os estudantes executaram diligentemente a atividade construindo adequadamente as estruturas.

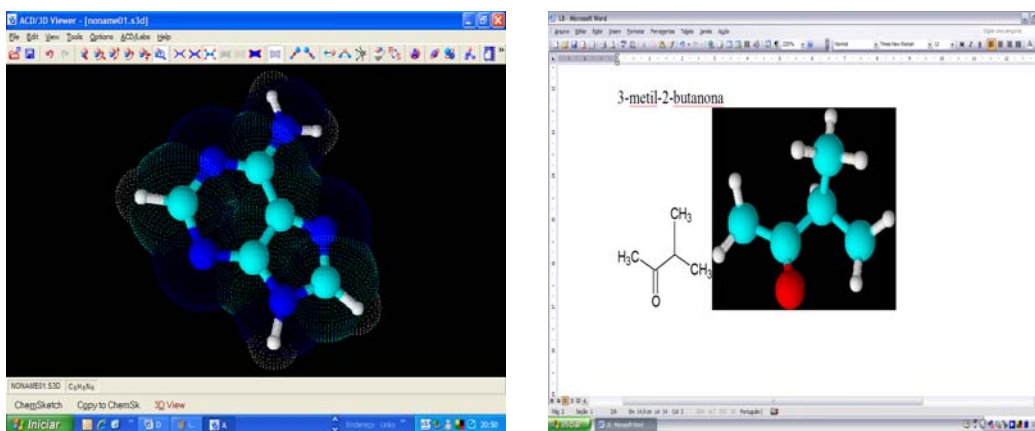


Figura 1.- À esquerda o programa ChemSketch, e à direita um texto em Word contendo tanto a representação estrutural (plana) como a representação 3D de uma das espécies trabalhadas pelos estudantes.

Posteriormente (2 semanas depois) sem o uso do software aplicamos um segundo testes onde, com os mesmos materiais os alunos representaram tridimensionalmente através de desenhos isômeros diferentes do pré-teste, mas com semelhante grau de complexidade (ver Anexo 2).

Método de análise

Analisamos atentamente as figuras do pré-teste e do pós-teste a fim de observar características que agrupassem os estudantes em diferentes categorias de análise, de acordo com a evolução individual entre o pré e o pós-teste. Os seguintes marcos foram detectados:

- Representação das ligações: Número de ligações por átomo (respeitando a Valência); tipo de representação de ligação utilizada (*wireframe*, *Ball and sticks*, etc); distribuição espacial das ligações.
- Representação dos átomos: Utilização de cores; tamanhos distintos para diferenciar átomos; tipo de representação atômica; transporte de todos os átomos de uma representação para outra.
- Visão 3D: estruturação e desenho das ligações e átomos de forma a causar a impressão tridimensional da molécula.

Em seguida os desenhos foram individualmente, para todos os estudantes, analisados à luz do referencial teórico adotado da Teoria da Mediação Cognitiva. O objetivo foi observar uma evolução, causada pela utilização do software como instrumento, na capacidade de representar internamente e, conseqüentemente, externamente, isômeros geométricos. Esta evolução, quando detectada, é, de acordo com a TMC, causada pela equilibração de elementos inerentes à lógica externa de representações assimilados durante a interação com o software e a posterior acomodação de suas lógicas pré-existentes em função da assimilação das lógicas recém-assimiladas. Estas lógicas lidam com a maneira de representar moléculas embutida no programa (lógica assimilada) e pelo estudante (lógica pré-existente).

Os estudantes então foram agrupados em três grupos distintos: os que apresentaram vários elementos identificados como de excelente evolução entre o pré e o pós-teste (sendo assim aqueles que apresentaram uma equilíbrio melhor dos elementos assimilados advindos do software); os que apresentaram boa evolução; e os que apresentaram evolução modesta pela análise dos desenhos, à luz do referencial teórico. Aqui entendemos equilíbrio, assimilação e acomodação em um sentido neo-piagetiano, tal qual assumido por Vergnaud; ou seja, não buscamos estudantes que desenhem átomos exatamente como desenhados pelo programa, mas os que compatibilizem a lógica assimilada com sua própria capacidade de desenhar as moléculas anteriormente.

Resultados

Após analisar as diferenças entre os testes e categorizar os estudantes de acordo com o nível de evolução, foi eleito um estudante de cada grupo para discutirmos seus desenhos detalhadamente. Foram escolhidos estes estudantes por representarem bem a evolução representacional apresentada por subgrupos que emergiram da análise qualitativa.

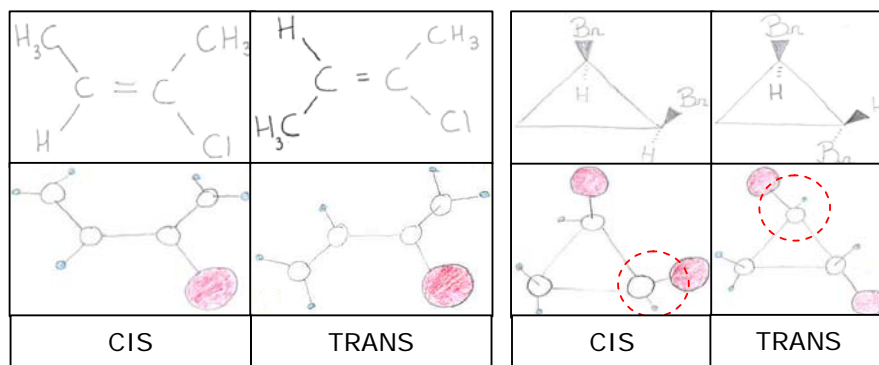
Excelente evolução (JS, DN):

Características do grupo após a intervenção:

- a) Diferença de tamanho entre heteroátomos, carbonos e hidrogênios é significativa.
- b) Cores são mais intensas, diferenciando os átomos.
- c) Ângulos de ligação são mais definidos.
- d) A representação de átomos para frente ou para fora do plano é bem explícita.
- e) As ligações são retas perfeitas (desenhadas com régua) e os átomos círculos quase perfeitos.
- f) Há perfeita clareza de perspectiva.

Todas as características supracitadas são características marcantes do software ChemSketch 10.0 utilizado, sendo, provavelmente assimiladas pela estrutura cognitiva dos alunos pertencentes a este grupo após o uso do programa de forma regular.

Durante o pré-teste, ou seja, antes do uso do programa, este grupo caracteriza-se por apresentar desenhos moleculares que demonstram alguma característica 3D, mas ainda com diversos erros representacionais. Frequentemente também fazem uso de cores, mas não de maneira consistente e sistemática em todos os desenhos. Já após a intervenção, este subgrupo apresenta as melhores imagens, desenhadas em geral com utilização de instrumentos como régua e cores diferenciadas. Sua representação permanece a *wireframe* tanto antes como após a intervenção. Esta evolução pode ser mais bem compreendida analisando os desenhos de JS.



Figuras 2 e 3.- À esquerda temos o (cis/trans) 3-cloro-2-buteno e à direita o 1,2-dibromo-ciclopropano desenhados pelo estudante JS no pré-teste. A forma estrutural plana está acima e sua projeção 3D, abaixo. Os círculos vermelhos realçam grupamentos mal desenhados (vide texto).

Conforme pode ser observado na figura 2, o estudante JS demonstra dominar a representação plana para o 3-cloro-2-buteno no pré-teste. O desenho da estrutura plana não é solicitado na questão, mas a maioria dos estudantes sente a necessidade de representar a molécula bidimensionalmente no papel (como se fazendo uso de uma memória externa) antes de esboçar a forma tridimensional. Quando o estudante tenta, conforme solicitado no pré-teste, representar a estrutura do alceno tridimensionalmente (ou espacialmente), ele demonstra não dominar esta representação. De fato, na figura 2, na parte inferior, alguns elementos estão ausentes: o terceiro átomo de hidrogênio do grupamento CH₃ não é representado pelo estudante. Dessa forma, o carbono faria apenas 3 ligações. O tamanho dos átomos, mesmo no pré-teste está satisfatoriamente diferenciado. Na figura 3, o aluno desenhou o dibromociclopropano. Como pode ser observado nos círculos vermelhos, houveram átomos de carbono onde as quatro ligações não foram desenhadas de forma a tornar evidente sua distribuição espacial. É aparente que o estudante não é capaz de imaginar estes átomos de carbono, quando ligados a grupamentos com heteroátomos como formando uma distribuição espacial de ligações, pois existem grupamentos CH₂ que o estudante desenhou uma das ligações "saindo" do papel, mas não para o CH₃.

Já após a intervenção, durante o pós-teste, conforme pode ser observado na figura 4, o estudante não fez uso da fórmula estrutural plana 2D com fins de desenhar a fórmula 3D, indo diretamente até ela, executando toda a tarefa sem necessidade de uma memória externa. Todos os carbonos apresentam ligações com indicação de uma distribuição espacial, o que é creditado à atividade realizada que possibilitou um definitivo refino na sua capacidade de representar interna e externamente estes isômeros. De acordo com a TMC, ao utilizarem o programa os estudantes foram capazes de assimilar elementos da representação molecular utilizada pelo chemsketch tais como as citadas acima. Com relação à forma de desenhar, o estudante utiliza instrumentos (régua) para desenhar as ligações, tal qual o Chemsketch, que utiliza códigos de programação onde as linhas são perfeitamente retas. Os desenhos utilizam o modelo *wireframe*, que representa uma boa equilíbrio entre seus esquemas anteriores e a lógica

representacional do software. Com relação à visualização tridimensional, o desenho molecular apresenta elementos representacionais que indicam com clareza quais grupamentos atômicos estão à frente ou atrás do plano central da molécula. Todas estas características foram assimiladas após o contato com o programa, podendo, dentro da TMC, ser explicadas pelo uso de um processamento extra-cerebral na forma do Chems sketch que foi assimilado pela estrutura cognitiva dos estudantes. Este foi o grupo que apresentou, dentro da TMC, uma melhor equilíbrio. A representação 3D do dicloroetano (Figura 4) não apresenta a ligação dupla entre os dois átomos de carbono. Esta deficiência é encontrada no Chems sketch igualmente, o que constitui uma evidencia adicional da assimilação da lógica representacional do software.

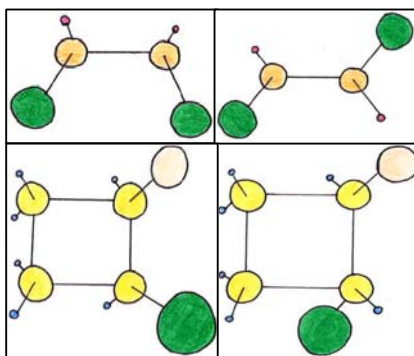


Figura 4.- Na parte inferior temos o 1-cloro-2-bromociclobutano na forma cis(esq.) e trans(dir.), desenhados pelo estudante JS na forma 3D projetada, durante o pós-teste. Na parte superior, os desenhos respectivos do 1,2-dicloroetano.

Boa evolução (LB, AC, ST)

Características do Grupo:

- Diferença de tamanho entre heteroátomos e hidrogênios é suficiente, mas não há diferença entre os heteroátomos e o carbono.
- Utilizam cores para diferenciar os átomos.
- Ângulos de ligação não bem definidos, mas obedecendo TRPEV.
- A representação de átomos para frente ou para fora do plano é tênue.
- As ligações são cilindros (sticks) e os átomos círculos.
- Não há clareza na perspectiva.

Este grupo se caracteriza por apresentar uma boa evolução, isto é, uma melhora detectável entre os desenhos do pré e pós-teste. Em geral apresentavam figuras sem cores e sem diferenciação de heteroátomos no pré-teste, enquanto no pós-teste evoluem para representação colorida, tridimensional e com diferenciação entre raios de heteroátomos. Preferem a representação *ball-and-stick*. Para uma análise detalhada da evolução do grupo, foi escolhido o estudante LB.

Durante o pré-teste, conforme ilustrado na figura 5, este estudante (LB) inicialmente desenha a fórmula estrutural plana, tal qual o estudante anteriormente discutido (estudante JS). Em seguida, o estudante desenha a figura 3D projetada, conforme solicitado. Comparando a figura de LB com o estudante anterior JS, fica evidente que o primeiro tenta desenhara uma figura geométrica com ligações representadas por um único traço, tipo wireframe. Já LB tenta desenhara as ligações como bastonetes, tipo ball-and-Stick. O estudante, na figura 5, tenta representar os grupamentos CH₃ de forma tridimensional, mas falha ao não acrescentar o terceiro átomo de hidrogênio (visto que coloca dois átomos de hidrogênio em planos à frente e em baixo do átomo de carbono central). O estudante também não faz uso de cores para diferenciar os átomos nem observa a diferença entre raios atômicos para átomos não hidrogenóides.

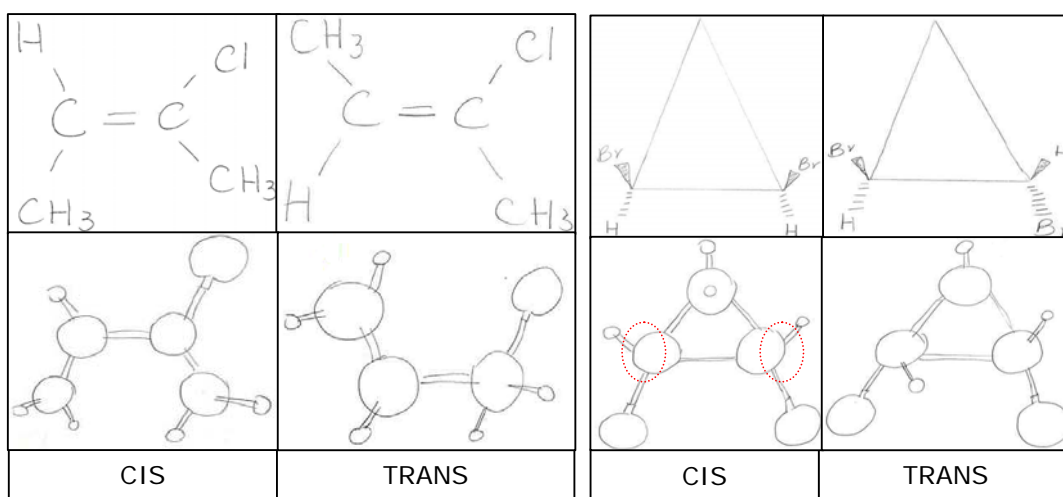


Figura 5 e 6.- À esquerda temos o (cis/trans) 3-cloro-2-buteno e à direita o 1,2-dibromo-ciclopropano desenhados pelo estudante LB no pré-teste. A forma estrutural plana está acima e sua projeção 3D, abaixo. Os círculos vermelhos realçam grupamentos mal desenhados (vide texto).

Na figura 6, observa-se, além dos fatores anteriormente comentados, que o estudante não consegue representar de forma correta a estrutura das ligações em torno do átomo de carbono.

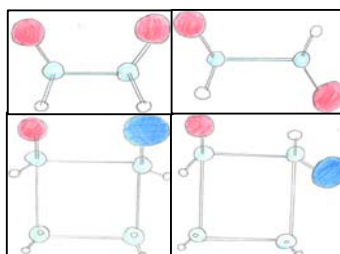


Figura 7.- Na parte inferior temos o 1-cloro-2-bromociclobutano na forma cis (esq.) e trans (dir.), desenhados pelo estudante LB na forma 3D projetada, durante o pós-teste. Na parte superior, os desenhos respectivos do 1,2-dicloroeteno.

Após a intervenção, na figura 7, LB também não necessita da fórmula estrutural plana como um esboço prévio para se conseguir o desenho 3D. O estudante faz uso de diferentes cores para os átomos e também diferencia o tamanho de todas as espécies. Além disto, ligações estão corretamente representadas nas suas posições 3D. Note que este estudante utiliza representações para as ligações semelhantes a bastonetes (tipo *balls-and-sticks*), enquanto JS utiliza linhas retas (tipo *wireframe*)

Ao analisar a evolução deste grupo dentro da TMC (estudantes LB, AC e ST), é percebido que vários elementos cruciais foram assimilados, mas ao serem equilibrados com elementos já existentes na estrutura cognitiva do estudante, resultaram em uma equilibrção menos eficaz quanto o grupo anterior para lidar com a tarefa. Em especial, pode-se destacar que os ângulos de ligação não são tão evidentes e que a perspectiva, comparada ao grupo anterior, é insuficiente. Em especial, estes estudantes utilizam a representação *ball-and-stick*, utilizada pelo ChemSketch 10.0 (uma boa assimilação), contudo ao tentar reproduzir esta representação, o resultado da perspectiva e ângulo de ligação é sacrificado – sendo estes dois elementos importantes à representação e diferenciação de isômeros cis/trans. Assim, a acomodação com elementos importantes em um desenho é fraca.

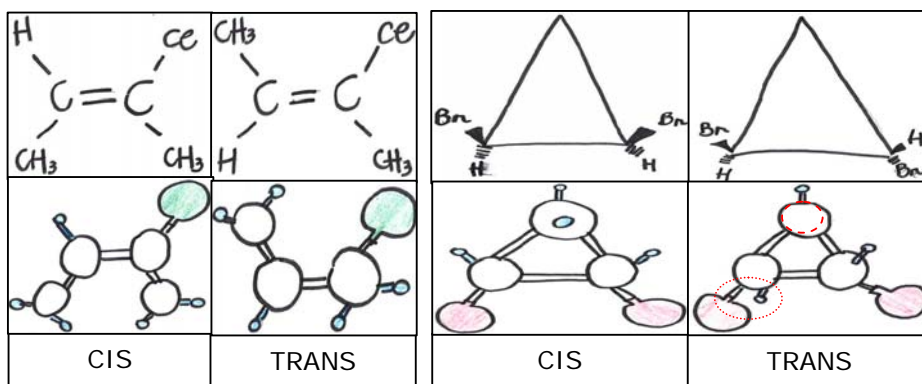
Evolução moderada (TN, FR, GL, LC, LV):

Características do grupo:

- a) Diferença de tamanho entre heteroátomos e hidrogênios é suficiente.
- b) Cores claras para diferenciar átomo, ou ausência de cores.
- c) Ângulos de ligação são mal definidos, com átomos claramente não obedecendo à regra TRPEV.
- d) A representação de átomos para frente ou para fora do plano não é explícita e nem sempre utilizada adequadamente.
- e) As ligações são retas não tão bem desenhadas e os átomos nem sempre são circulares. Há átomos que não foram desenhados.
- f) O desenho apresenta uma perspectiva tridimensional insuficiente.

O estudante TN é um exemplo de estudante que, desde o pré-teste, já apresentava diversos elementos representacionais que outros não apresentavam. Em primeiro lugar, o estudante faz uso de cores na estrutura 3D (Figuras 8 e 9), mas não representa átomos não-hidrogenóides de tamanho diferentes.

Após a intervenção, mesmo este estudante apresenta alguma melhora (ver figura 10). O estudante TN faz uso da representação estrutural plana no pós-teste antes de desenhar a estrutura 3D. Ademais, a estrutura 3D esboçada por TN (Figura 10) ainda não apresenta a clareza representacional que JS (Figura 4) e LB (Figura 7) apresentam, pois diversas ligações não apresentam uma distribuição espacial em torno dos átomos de carbono.



Figuras 8 e 9.- À esquerda temos o (cis/trans) 3-cloro-2-buteno e à direita o 1,2-dibromo-ciclopropano desenhados pelo estudante TN no pré-teste. A forma estrutural plana está acima e sua projeção 3D, abaixo. Os círculos vermelhos realçam grupamentos mal desenhados (vide texto).

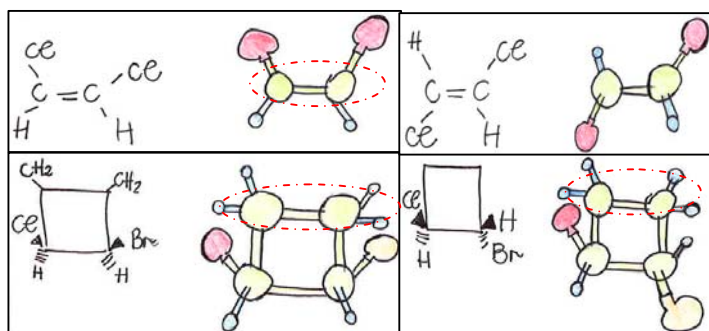


Figura 10.- Na parte inferior temos o 1-cloro-2-bromociclobutano na forma cis(esq.) e trans(dir.), desenhados pelo estudante TN na forma 3D projetada, durante o pós-teste. Na parte superior, os desenhos respectivos do 1,2-dicloroeteno.

Quanto aos demais estudantes deste grupo, FR e GL apresentam o mesmo padrão que TN. LC já apresenta desenhos coloridos no pré-teste, o pós teste interessantemente não foi feito com cores, mas o aspecto tridimensional dos gráficos é substancialmente melhor que no pré-teste. Finalmente, LV já apresenta desenhos coloridos também no pré-teste, e evolui em sua representação geométrica, à semelhança dos outros.

Do ponto de vista da TMC, este grupo apresenta tanto a assimilação de novos elementos presentes no programa quanto à acomodação destes elementos com aqueles pré-existentes na sua estrutura cognitiva sutis.

Considerações gerais sobre o desenvolvimento da atividade

Em uma análise geral do grupo, na representação dos átomos foi percebido que em ambos os testes o hidrogênio sempre foi representado com um tamanho muito menor que os átomos de carbono e de halogênios (cloro e bromo), em todos os desenhos. Isso mostra que os estudantes possuem o conceito de que o hidrogênio é um átomo extremamente pequeno em relação aos demais, pois conforme citado por eles durante a

atividade: *"O hidrogênio é o átomo que tem menor massa, por isso tem que ser o menor de todos no desenho."* (citação de AC, colhida pela professora). Mas quando introduzimos outros átomos na molécula, este conceito não foi estendido, evidenciado pelos desenhos dos átomos de carbono e halogênios que não apresentaram em muitos casos, diferença de tamanho significativo (estudantes AC, LV, TN, FR, ST e LB no pré-teste). É observado também, que mesmo dispondo dos recursos, no pré-teste alguns alunos não diferenciaram os átomos por cor (LB e AC). Já no pós-teste é possível se ver que além da preocupação dos estudantes em representar cada átomo com uma cor distinta, a diferenciação do tamanho relativo foi bem marcante e o conceito de tamanho antes aplicado somente ao hidrogênio passou a incorporar os demais. (os mais marcantes foram AC, ST e LB). Também os estudantes FR, GL, TN, LV e AC representaram previamente a estrutura 2D para esboçar a 3D no pós-teste. Já os estudantes LC, ST, LB, JS e DN dispensam a representação externa 2D a fim de representar o modelo 3D. No pré-teste todos os estudantes representam externamente a forma 2D antes de partir para o esboço da 3D. Esta mudança foi observada pela professora-investigadora nas suas anotações: *"O que notei de diferente e que não havia me dado conta antes, é que na primeira etapa todos fizeram primeiro a fórmula plana e a partir dela a configuração 3D (como se convertessem uma na outra), e na segunda etapa 5 estudantes fizeram direto a configuração 3D sem precisar da estrutura plana como ponto de partida."* Curiosamente, durante entrevistas, Pavlinic et. Al (2007) identificaram que estudantes prefeririam outras representações 2D para compreender isomeria, mas que o melhor uso é a combinação de representações 2D e 3D, pois uma complementa a outra. Assim, uma vez internalizadas as representações 2D e 3D (esta melhor internalizada após a atividade), a compreensão deste conceito se torna cognitivamente mais fácil.

Conclusões

Analisando a evolução dos três grupos descritos como um todo, é possível afirmar que em comparação com o pré-teste, as representações das moléculas produzidas no pós-teste mostraram-se mais elaboradas, algumas fazendo uso de régua para representar as ligações e um esquema de cores diferenciando os diferentes tipos de átomo. Além disso, os modelos expressados mostraram-se mais completos e corretos sob o ponto de vista de representar adequadamente a estrutura molecular em questão, tanto estruturalmente, quando em perspectiva.

É interessante observar que, tanto no pré quanto no pós-teste, os alunos tinham a possibilidade de utilizar qualquer combinação de até 12 cores distintas para desenhar os seus modelos estruturais. Curiosamente, os esquemas produzidos no pré-teste por LB e AC foram monocromáticos. Os estudantes DN, FR, JS e TN fizeram uso limitado de cores (para apenas poucos átomos em alguns dos desenhos). No pós-teste, todos, com exceção do estudante LC (que não utilizou cores), utilizaram cores distintas. Isso corresponde exatamente ao que ocorre, respectivamente, nos modelos apresentados em sala de aula com giz e quadro-negro na instrução inicial dos alunos e nos modelos apresentados nas telas do ChemSketch 10.0.

Neste último contexto, vale à pena ressaltar que o esquema de diferenciar átomos por cores vividamente distintas foi idêntica à usada no software.

Ao que tudo indica, há uma clara tendência dos alunos internalizarem as representações e seus invariantes utilizados durante a última instrução recebida, reproduzindo-as espontaneamente quando solicitados a resolver problemas envolvendo os conteúdos em questão. Ocorre, porém, que as representações mais sofisticadas do pós-teste também foram as mais corretas e menos propensas a erro. Isso sugere fortemente tratar-se de um impacto cognitivo da estrutura representacional em si, a qual, por sua vez, é fruto da modalidade de instrução, com aquela oriunda do ensino com a utilização de um mecanismo de processamento extra-cerebral para desenho e rotação visual de espécies moleculares (computador) sendo a mais vantajosa.

A superioridade do tipo de representação utilizado no ChemsSketch é uma consequência do fato de que esta última é:

a) Tridimensional, permitindo a visualização de todas as relações espaciais entre os átomos da molécula; Segundo Wu e Shah (2004), *"Problemas químicos relacionados à identificação de Isômeros requerem este tipo (relações espaciais) de raciocínio espacial"*

b) Manipulável, permitindo uma interação mais rica do estudante com os invariantes operatórios da estrutura;

c) Multicolorida e pluri-representacional, claramente diferenciando átomos e ligações não apenas via rótulo, mas também por meio de atributos representacionais diversos.

Segundo a TMC, ao interagirem com os conteúdos científicos em sala de aula, os estudantes constroem representações mentais que representam uma internalização dos invariantes operatórios com os quais interagem. Mais ainda, tais representações vêm acompanhadas de verdadeiros teoremas-em-ação que refletem os padrões e a dinâmica dos objetos com os quais se interage. O presente estudo parece indicar, de forma exploratória, que ao menos em se tratando do ensino de ciências, as representações aparentemente mostram-se ancoradas nos signos e imagens utilizados no processo instrucional, este realizado com o auxílio de programas de visualização molecular. Durante o uso do software, o estudante utiliza o processamento externo computacional para não apenas representar, mas também rotacionar representações moleculares 3D de isômeros, após desenharem a estrutura 2D (o software também faz a conversão para 3D). O uso deste software aparentemente auxilia na internalização destas representações, após o estudante fazer uso delas externamente, pela internalização das representações e dos invariantes operatórios associados com a construção de modelos 3D e a rotação destes modelos. Eventualmente, isso leva a uma acomodação, onde os invariantes e representações pré-existentes na estrutura cognitiva do estudante são transformados em função da nova lógica que o software apresenta. Isto foi documentado pelo fato que cinco dos dez estudantes analisados converteram mentalmente a estrutura 2D em 3D sem fazer uso de uma representação externa 2D (desenhada no papel tal qual nos pré-testes) para efetuar esta conversão. Isto pode ser visto dentro uma perspectiva de

redução da carga cognitiva (Kirschner, 2002) pela aquisição e internalização de invariantes apropriados que permitiram a conversão 2D em 3D sem uso de representações externas. Mais ainda, existem indicações que, as propriedades específicas das representações estudadas (estruturas virtuais em 3D) mostram-se mais propícias ao aprendizado de conceitos científicos (Wu e Shah, 2004).

Uma última pergunta poderia ser levantada: Afinal, qual o impacto que uma melhor capacidade de representação (mental e externa) de estruturas 3D poderia causar na habilidade do estudante em resolver problemas químicos? Curiosamente, conforme analisado detalhadamente por Wu e Shah (2004), "*habilidade visuoespaciais parcialmente explicam diferenças no desempenho de estudantes tanto em problemas de tipo aparentemente espacial (isomeria) como em problemas não espaciais (como estequiometria)*". Várias hipóteses foram levantadas pelos autores na tentativa de explicar este fato, e algumas tendem a se sustentar na hipótese de trabalho que habilidades visuoespaciais podem ser utilizadas para "manipular mentalmente" também outros tipos de representações químicas, o que poderia ser interpretado como a utilização de invariantes operatórios em outras situações problema e representações. Finalmente, há evidências claras que estas habilidades podem ser aprimoradas dentro de um processo de ensino (Small e Morton; 1983). Dessa forma, a utilização deste tipo de software pode auxiliar estudantes não apenas em problemas de isomeria, mas em uma gama mais variada de problemas químicos.

Referências bibliográficas

Acid/Chemsketch Freeware (2006). Version 10.00, Advanced Chemistry development, Inc., Toronto, On, Canada. www.acdlabs.com.

Campello de Souza, B. (2004). *A Teoria da Mediação Cognitiva: Os impactos cognitivos da hipercultura e da mediação digital*. Tese (Doutorado Em Psicologia Cognitiva). Departamento de Psicologia Cognitiva, Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil.

Campello de Souza, B. e A. Roazzi (2003a). Multidimensional Evidence of a Hyperculture. In: IX International Facet Theory Conference, Ljubljana, Eslovênia, *Annals*, 20-23 de Julho.

Campello de Souza, B.C. e A. Roazzi (2003b). Hipercultura e Pensamento: Tecnologia da Informação e Mediação Cognitiva. In: IV Congresso Brasileiro de Psicologia do Desenvolvimento. João Pessoa, PB, 2003. *Livro De Resumos*, 258 – 259.

Fonseca, M.R.M. (2001). *Completamente Química: Química Orgânica*. São Paulo: FTD.

Gabel, D.L.; Sherwood, R.D. e L. Enochs (1984). Problem-Solving Skills of High School Chemistry Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 221-233.

Keig, P.F. e P.A. Rubba (1993). Translation of representations of the structure of matter and its relationship to reasoning, Gender, Spatial Reasoning, And Specific Prior Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 883-903.

Kirschner, P.A. (2002). Cognitive load theory: implications of cognitive load theory in the design of learning. *Learning and instruction*, 12, 1-10.

Kurbanoglu, N.I.; Taskesenligil, Y. e M. Sozbilir (2006). Programmed instruction revisited: a study on teaching stereochemistry, *Chemistry Education Research and Practice*, 7, 13-21.

Pavlinic, S.; Buckley, P.; Burns, J. e T. Wright (2007). Computing in stereochemistry – 2D Or 3D representations? In *Research in Science Education - Past, Present, and Future*, Amsterdam: Springer Netherlands.

Papadakis, M. e E. Collins (2001). The application and implications of information technologies in the home: where are the data and what do they say?. *Nsf 01-313*, The Science And Policy Technology Program, Sri International, Arlington, Va.

Piaget, J. (1977). *Psicologia da Inteligência*. Rio De Janeiro: Zahar.

Seminério, F.L.P. (1996). *Piaget: o construtivismo na psicologia e na educação*. Rio De Janeiro: Imago.

Small, M.Y. e M.E. Morton (1983). Research in college science teaching: spatial visualization training improves performance in organic chemistry. *Journal Of College Science Teaching*, 13, 41-43.

Sternberg, R.J. (1984). A contextualist view of the nature of intelligence. *International Journal of Psychology*, 19, 307-334.

Sternberg, R.J. (1988). Intelligence. Em: Sternberg, R.J.E Smith, E.E. (Editores). *The Psychology of Human Thought*. Cambridge University Press.

Sternberg, R.J. (1991). Theory-based testing of intellectual abilities: rationale for the triarchic abilities test. Em: Rowe, H.A.H. (Ed.). *Intelligence: reconceptualization and measurement*. Londres: Lawrence Erlbaum Associates.

Sternberg, R.J. (1999a). Successful intelligence: finding a balance. *Trends in cognitive sciences*, 3, 436-442.

Sternberg, R.J. (1999b). The theory of successful intelligence. *Review of General Psychology*, 3, 292-316.

Tapscott, D. (1998). *Growing up digital: the rise of the net generation*. New York: Mcgraw-Hill.

Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. Em T. Nunes E P. Bryant (Eds.), *Learning and teaching mathematics: an international perspective*, Psychology Press: Hove, 5-28.

Vygotsky, L.S. (1984). *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes Editora Ltda.

Wu, H.-K. e P. Shah (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88, 465-492.

Wu, H-K.; Krajcik, J.S. e E. Soloway (2001). Promoting understanding of chemical representations: student's use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 821- 842.

Anexo 1

Dados de identificação para o pré-teste

NOME: _____

IDADE: _____

Desenhe os seguintes isômeros em 3D, utilizando a(s) folha(s) fornecida(s) em anexo.

cis-2-buteno e trans-2-buteno

cis-1,2-dibromociclopropano e trans-1,2-dibromociclopropano

cis-3-Cloro-2-buteno e trans-3-Cloro-2-buteno

cis-1-bromo-1,2-dimetil-ciclopentano e trans-1-bromo-1,2-dimetil-ciclopentano

Anexo 2

Dados de identificação para o pós-teste

NOME: _____

IDADE: _____

Desenhe os seguintes isômeros em 3D, utilizando a(s) folha(s) fornecida(s) em anexo.

a) cis-1-cloro-2-bromociclobutano e trans-1-cloro-2-bromociclobutano

b) cis-1,2- dicloroeteno e trans-1,2- dicloroeteno