

Desenhando Isômeros Ópticos

Gláucia A. A. Rezende, Nicea Q. Amauro e Guimes Rodrigues Filho

Nas aulas que versam sobre o conceito de estereoquímica, a maior dificuldade dos alunos é a visualização das moléculas em suas conformações espaciais. Assim, criamos uma estratégia didática que consiste em representar estereoisômeros em suas fórmulas de projeções em perspectivas e de Fischer. Tais estruturas foram elaboradas utilizando-se o software ChemsSketch, da ACD/Labs, impressas em folhas A4 e em transparências, a fim de que o aluno possa visualizar as formas espaciais das moléculas e as alterações na configuração dos isômeros. A metodologia proposta neste trabalho foi aplicada a uma turma do 3º ano do curso técnico integrado de química do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de Goiás (IFG), Campus Itumbiara. Os alunos responderam a um questionário sobre a estratégia utilizada em sala de aula ao final do desenvolvimento desta. Na análise das respostas, pode-se evidenciar que a metodologia cumpre com seu propósito, uma vez que auxiliou os alunos a compreender a estereoquímica. Os resultados também mostraram que o modelo impresso é o preferido pelos alunos para melhorar seu entendimento no estudo de isomeria.

► estereoquímica, química orgânica, quiralidade ◀

Recebido em 05/10/2014, aceito em 05/01/2016

A compreensão das relações espaciais presentes em compostos iônicos e moléculas é fundamental para o entendimento adequado da reatividade e das propriedades físico-químicas da matéria (Dias; Soares, 2009). Existem moléculas cujas fórmulas são idênticas, porém com as sequências dos átomos ligadas de forma diferente. Para tipificar esse comportamento, estabelece-se um paralelo entre os elementos químicos e as letras do alfabeto. Nesse cenário, a composição de palavras são fórmulas unitárias. Assim, para escrever a palavra ROMA, utiliza-se uma letra R, uma letra O, uma letra M e uma letra A. Empregando essas mesmas quatro letras, é possível escrever outros vocábulos, tais como AMOR, RAMO, OMAR, MORA e ORAM, apenas alterando a sequência de como elas se conectam. Tais moléculas são chamadas de isômeros constitucionais ou de constituição. Como exemplo, podemos citar o etanol e o éter metoximetano. Por outro lado, existem moléculas com fórmula molecular congênere. Estas, apesar de terem a mesma constituição, diferem-se no arranjo dos seus átomos no espaço. São chamadas de estereoisômeros, os quais podem

ser divididos em dois grupos: os isômeros geométricos e os isômeros ópticos (Solomons; Fryhle, 2012).

Os isômeros geométricos, também conhecidos como isômeros cis-trans, ocorrem quando há uma limitação na rotação da ligação, seja esta dupla ou por um composto de cadeia fechada. Assim, quando o composto possuir grupos idênticos, ou de maior prioridade, do mesmo lado da ligação dupla (ou do mesmo lado da molécula), o isômero é chamado de cis, enquanto que o composto que apresenta grupos idênticos – ou de maior prioridade, em lados opostos da dupla ligação ou da molécula – são denominados isômeros trans (Romero, 1998; Solomons; Fryhle, 2012). No caso dos compostos de cadeia fechada, imagina-se um plano de referência. Se os dois substituintes idênticos, ou de maior prioridade, um em cada carbono, estiverem apontando para a mesma face do plano, o isômero é cis. Caso apontem para faces distintas, o isômero é trans (Souto; Duarte, 2006). A Figura 1 mostra exemplos de isômeros cis e trans, tanto de cadeia aberta quanto de cadeia fechada. Deve-se ainda ressaltar que, em compostos com ligações simples entre carbonos, pode haver a rotação do eixo da ligação, levando a diferentes conformações dos seus átomos, o que é chamado de isomeria conformacional. Nesses compostos, não ocorre

A seção "Conceitos científicos em destaque" tem por objetivo abordar, de maneira crítica e/ou inovadora, conceitos científicos de interesse dos professores de Química.

isomeria geométrica cis-trans como no caso do 1,2 dicloro-etano (Souto; Duarte, 2006).

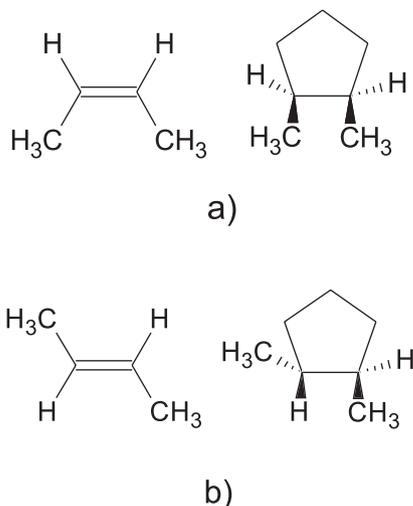


Figura 1: Exemplos de isômeros geométricos: a) cis; b) trans.

Considerando esse contexto, em 1848, Louis Pasteur identificou que os cristais de tartarato de sódio podem apresentar-se na natureza de duas formas diferentes, sendo cada uma delas a imagem especular da outra. Esse fenômeno é conhecido como quiralidade (Islas; Buhse, 2007). A caracterização das propriedades ópticas dos cristais do ácido tartárico e do ácido para-tartárico, estruturas idênticas que desviam a luz polarizada em ângulos opostos, contribuiu para a formulação do postulado de Le Bel e van't Hoff sobre a natureza tetraédrica do átomo de carbono, assim como para o reconhecimento, em nível molecular, das estruturas especulares chamadas enantiômeros (Dias; Soares, 2009).

A quiralidade

O fenômeno de quiralidade está relacionado a objetos que possuem imagens especulares idênticas na forma direita e na forma esquerda como sapatos, tênis e luvas. Esses objetos são chamados de quirais (Coelho, 2001). Os objetos que não apresentam distinção entre forma direita e esquerda são chamados de aquirais. O termo quiral origina da palavra grega cheir, que significa mão (Bruice, 2006).

Assim como alguns objetos são quirais, algumas substâncias também podem apresentar tal característica. Esse aspecto ocorre com maior frequência na química orgânica devido à possibilidade de o átomo de carbono formar várias ligações com diferentes arranjos espaciais. Essas moléculas devem figurar pelo menos um centro de quiralidade, também chamado de carbono quiral ou assimétrico, o qual apresenta hibridização sp^3 com geometria tetraédrica, sendo os seus quatro ligantes diferentes entre si. No entanto, os compostos possuidores de carbono assimétrico que apresentam isomeria espacial não são únicos, os que possuem um átomo com arranjo tetraédrico e quatro ligantes diferentes também apresentam isomeria espacial. Assim, podem-se encontrar compostos que contêm átomos

de silício, germânio, nitrogênio e enxofre com seus quatro ligantes diferentes, que são moléculas quirais e apresentam enantiômeros (Solomons; Fryhle, 2012). Em uma molécula, o carbono quiral vem marcado com um (*) – asterisco) como apresentado na Figura 2 (Bruice, 2006).

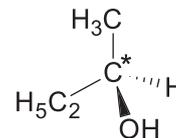


Figura 2: Exemplo de um carbono assimétrico.

Torna-se importante ressaltar que, para cada carbono quiral existente na molécula, podem-se desenhar dois estereoisômeros, sendo um representando o composto da direita e o outro, o da esquerda. Dessa forma, é possível definir o número de isômeros ópticos por meio da fórmula 2^n , em que n é o número de carbonos quirais existentes na fórmula (Bruice, 2006; McMurry, 2011). Vinculada a essa concepção, em moléculas que apresentam plano de simetria (Figura 3), a cada par, na verdade, tem-se a mesma molécula, resultando em um número menor de estereoisômeros encontrados para o composto estudado, sendo três: dois enantiômeros e um mesocomposto.

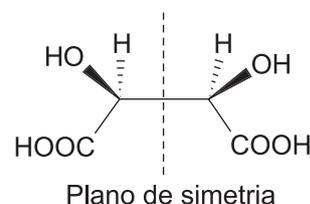


Figura 3: Plano de simetria: divide a molécula em duas metades que são imagens especulares entre si.

Para exemplificar, tomou-se como base o composto ácido tartárico. Analisando sua estrutura, podem ser encontrados dois carbonos quirais, o C2 e o C3, por apresentarem seus ligantes diferentes entre si (Figura 4). Sabendo que cada carbono quiral fornece dois estereoisômeros e existindo dois carbonos quirais na estrutura, conclui-se que é possível se obter quatro estereoisômeros do ácido tartárico (Figura 5), sendo as estruturas A e B e C e D imagens especulares entre si (Solomons; Fryhle, 2012).

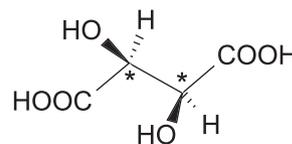


Figura 4: Carbonos assimétricos presentes na estrutura do ácido tartárico.

Uma estratégia de ensino para estudo das configurações de isômeros ópticos

Silva e Silva (2007) verificaram que as aulas sobre isomeria são realizadas de forma tradicional: aulas expositivas,

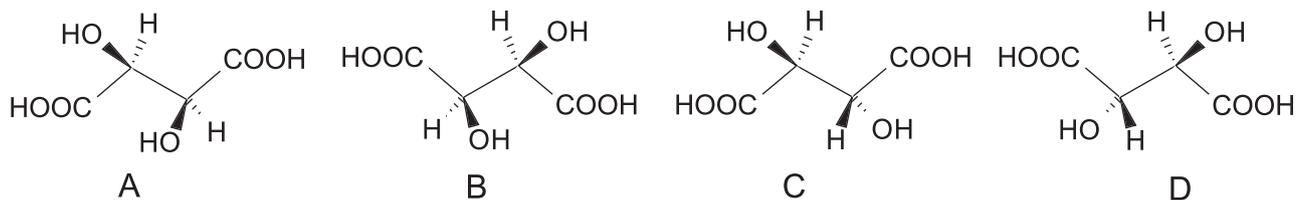


Figura 5: Estereoisômeros do ácido tartárico.

descontextualizadas e propedêuticas. Estas, por sua vez, utilizam, quase que exclusivamente, livros, textos, quadro branco, pincéis e retroprojeter, o que pode comprometer a compreensão do aluno acerca do conteúdo.

Diante desse cenário, elaborou-se e aplicou-se uma proposta de aula baseada em visualizações espaciais de estereoisômeros com a finalidade de contribuir para o entendimento dos pormenores do conteúdo de estereoquímica.

Em consenso com o raciocínio anterior, a estratégia didática tem como objetivo específico auxiliar o aluno na compreensão entre as nuances do domínio espacial; na manipulação das representações dos estereoisômeros em suas fórmulas de projeções em perspectivas e de Fischer; na visualização das moléculas em sua conformação espacial; no entendimento, na interpretação e na conversão de representações tridimensionais (3D) em bidimensionais (2D); e na avaliação das limitações dessas representações.

Utilizando modelos análogos a este, vários autores propuseram metodologias para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem sobre estereoquímica. Nessa perspectiva, Queiroz e colaboradores (2010) utilizaram bolas de isopor e varetas para reproduzir um modelo molecular que, em seguida, foi aplicado em uma aula sobre isomeria com o intuito de facilitar a visualização espacial das moléculas pelos alunos, enquanto Rodrigues e outros (2011a) construíram, juntamente com os alunos de uma turma de 3º ano do ensino médio, um modelo de mão, a partir de jornais e cola. O modelo produzido foi utilizado posteriormente na aula de isomeria óptica (Rodrigues et al., 2011b).

No presente trabalho, a metodologia de ensino foi elaborada a partir de pesquisa bibliográfica, na qual estão discutidas as principais dificuldades enfrentadas no ensino do conceito de estereoquímica. Essas dificuldades estão relacionadas principalmente com a visualização da estrutura das moléculas no espaço por parte dos alunos.

Nesse contexto, uma das dificuldades encontradas no ensino de isomeria espacial vincula-se ao uso extensivo de representações, uma vez que não é possível explicar, por meio do uso de fórmulas estruturais planas, as características que dependem da estrutura tridimensional da molécula (Raupp et al., 2009). Ruiz-Chica e colaboradores (1999) identificaram, em seus alunos, baixas habilidades para visualização das projeções das ligações do carbono tetraédrico e para a comparação de compostos enantiômeros, posto que os alunos não conseguiram visualizar a rotação das moléculas no espaço, o que impede que se verifique a sobreposição de moléculas quirais.

Assim, neste artigo, apresenta-se uma metodologia

desenvolvida e aplicada em uma turma de 20 alunos do 3º ano do curso técnico integrado em química do Instituto Federal de Goiás, Campus Itumbiara. Tal estratégia baseia-se em desenhar as moléculas tridimensionais (3D), imprimindo-as em folhas A4 (frente e verso) para demonstrar como as ligações em perspectivas se alteram conforme a molécula gira no espaço. Esta vem para diminuir ou sanar a principal dificuldade do aluno: não conseguir definir os isômeros que são figurados por não entender a estrutura tridimensional representada em seu caderno, além de não conseguir visualizar as conformações da molécula.

Isômeros ópticos e suas representações

Para desenhar os isômeros, inicialmente deve-se entender como essas substâncias podem ser representadas. Existem duas maneiras principais de desenhar um composto quiral: as fórmulas em perspectiva ou as projeções de Fischer.

Segundo Bruice (2006), a maioria dos químicos desenha os estereoisômeros usando a fórmula de projeção em perspectiva. Tal arranjo mostra dois dos ligantes do carbono quiral no plano do papel, representados por ligação simples, um ligante saindo do plano do papel para trás deste, cuja ligação é representada por uma linha tracejada; e um ligante saindo do plano do papel, projetado para frente, ligação representada por uma cunha sólida (Figura 6A). Diante desse quadro, Raupp e colaboradores (2009) salientam que os alunos precisam compreender e manipular as moléculas mentalmente, visualizando sua estrutura molecular tridimensional para posteriormente compará-las e serem capazes de identificar as diferenças entre estas (Wu; Shah, 2004).

Outra maneira de representar as estruturas tridimensionais dos compostos é desenhá-las utilizando a projeção de Fischer, recurso inventado por Emil Fischer no final do século XVII (Romero, 1998), que representa a estrutura do carbono quiral (tridimensional) em 2D no plano do papel (Figura 6B). Para tal representação, o carbono quiral fica na intersecção de duas linhas perpendiculares: as linhas verticais saem do plano para trás, afastando-se do observador, e as linhas horizontais projetam-se para frente do plano, aproximando do observador como apresentado na Figura 6C (McMurry, 2011).

Ainda em relação ao ensino de conceitos, Ruiz-Chica e colaboradores (1999) identificaram a dificuldade dos alunos em entender como as ligações do átomo de carbono podem projetar-se para trás (retaguarda) ou para frente do plano, o que faz com que estudantes não familiarizados

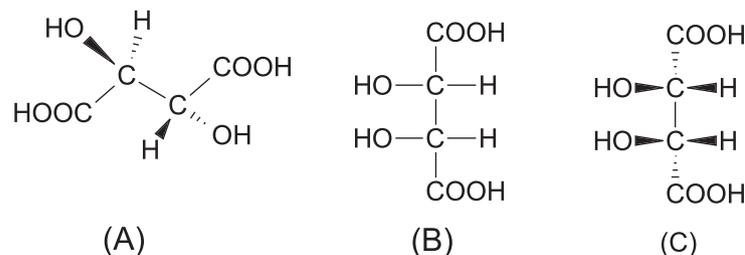


Figura 6: Diferentes representações dos estereoisômeros do ácido tartárico: (A) a conformação tridimensional em projeção de perspectiva; (B) a conformação tridimensional ao realizar a convenção de Fischer; (C) exemplo de representação que indica a orientação dos grupos hidroxila para a projeção de Fischer.

com as regras de desenho e da interpretação das projeções Fischer possam assumir que a configuração da D-xilose seja a D-ribose, uma vez que apenas se diferem na posição tridimensional de uma hidroxila (Figura 7). Sabe-se que a dificuldade da visualização em 3D impede que o aluno veja a diferença entre as moléculas, uma vez que se diferem na posição tridimensional de seus grupos ligantes (Ruiz-Chica et al., 1999), impossibilitando, portanto, a aprendizagem dos conteúdos de estereoquímica, uma vez que não lhes permite diferenciar os isômeros entre si.

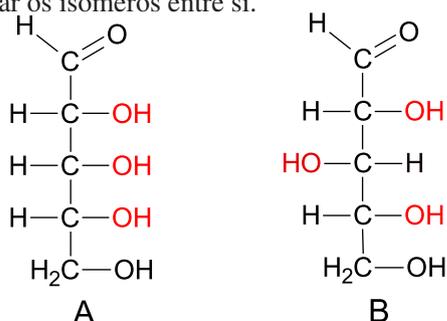


Figura 7: Estruturas da D-(-)-ribose (A) e da D-(+)-xilose (B).

Cumprir evidenciar que altas habilidades cognitivas são exigidas dos alunos para o entendimento das entidades químicas associadas aos aspectos espaciais tridimensionais destas e, em especial, no aprendizado de quiralidade (Al-Balushi; Al-Hajri, 2014). Nesse escopo, as representações auxiliam os alunos a visualizar as entidades químicas com vistas à manipulação dos níveis macroscópico (sensorial), simbólico (representacional) e submicroscópico da química. Em consequência, os referidos autores indicam que os modelos de bola e bastão são os mais utilizados pelos professores para o ensino dos aspectos tridimensionais dos compostos orgânicos. Por outro lado, a interconversão das representações 3D para 2D costuma ser negligenciada no ensino de química.

Montando as projeções

Stull e outros (2013) orientam que os modelos concretos e virtuais são fundamentais no ensino-aprendizagem de conteúdos químicos de alto domínio espacial. Por sua vez, ao comparar materiais didáticos que se utilizam desses

recursos, os autores identificaram que os modelos virtuais geralmente possuem uma maior portabilidade, isto é, podem ser visualizados em computadores, retroprojetores, TVs, tablets e smartphones. São também mais flexíveis, por suas representações serem facilmente convertidas de 3D para 2D.

Para Kumi e coautores (2013), as representações em 2D, como as presentes nos livros didáticos, auxiliam o estudante a adquirir conhecimento conceitual e representacional sobre a molécula estudada. Dessa forma, é preciso verificar meios de transcrever a conformação tridimensional da molécula em uma representação bidimensional. Diante do exposto, o desenvolvimento de uma metodologia de aula envolvendo o conceito de estereoquímica foi iniciado com o desenho das estruturas moleculares do ácido tartárico. Estas foram confeccionadas utilizando o software ChemsSketch (ACD/Labs, 2012) como apresentado na Figura 8.

Considerando esse contexto, o ácido tartárico apresenta dois carbonos quirais. Assim, inicialmente, é possível escrever quatro representações. No entanto, devido à existência de um plano de simetria, duas dessas representações configuram em uma única molécula: o estereoisômero meso. Tal fato caracteriza os três estereoisômeros do ácido tartárico (dois enantiômeros e um estereoisômero meso). A Figura 8 mostra as estruturas desses isômeros, apresentadas em fórmulas de projeções em perspectiva (A_1 , B_1 , D_1 e E_1) e projeções de Fischer (A_3 , B_3 , D_3 e E_3). Nota-se que há outras duas estruturas na Figura 8, chamadas de estruturas C_1 e F_1 . Elas são o resultado da rotação de 180° no eixo horizontal das estruturas B_1 e E_1 , respectivamente, e permitem melhor compreensão do que ocorre com as ligações quando as moléculas giram no espaço.

Com as estruturas das moléculas feitas, o próximo passo foi verificar se os isômeros são sobreponíveis entre si, a fim de determinar se são enantiômeros, diastereoisômeros ou mesocompostos.

Posteriormente, as estruturas A_1 , B_1 , D_1 e E_1 foram impressas em folhas de papel A4, sendo uma estrutura por folha para garantir boa visualização. As estruturas C_1 e F_1 (Figura 8) devem ser impressas no verso das estruturas B_1 e D_1 , respectivamente. As estruturas B_1 , E_1 , C_1 e F_1 devem ser impressas em filme cristal para transparências A4, a fim de facilitar a visualização das sobreposições das moléculas quando comparadas entre si.

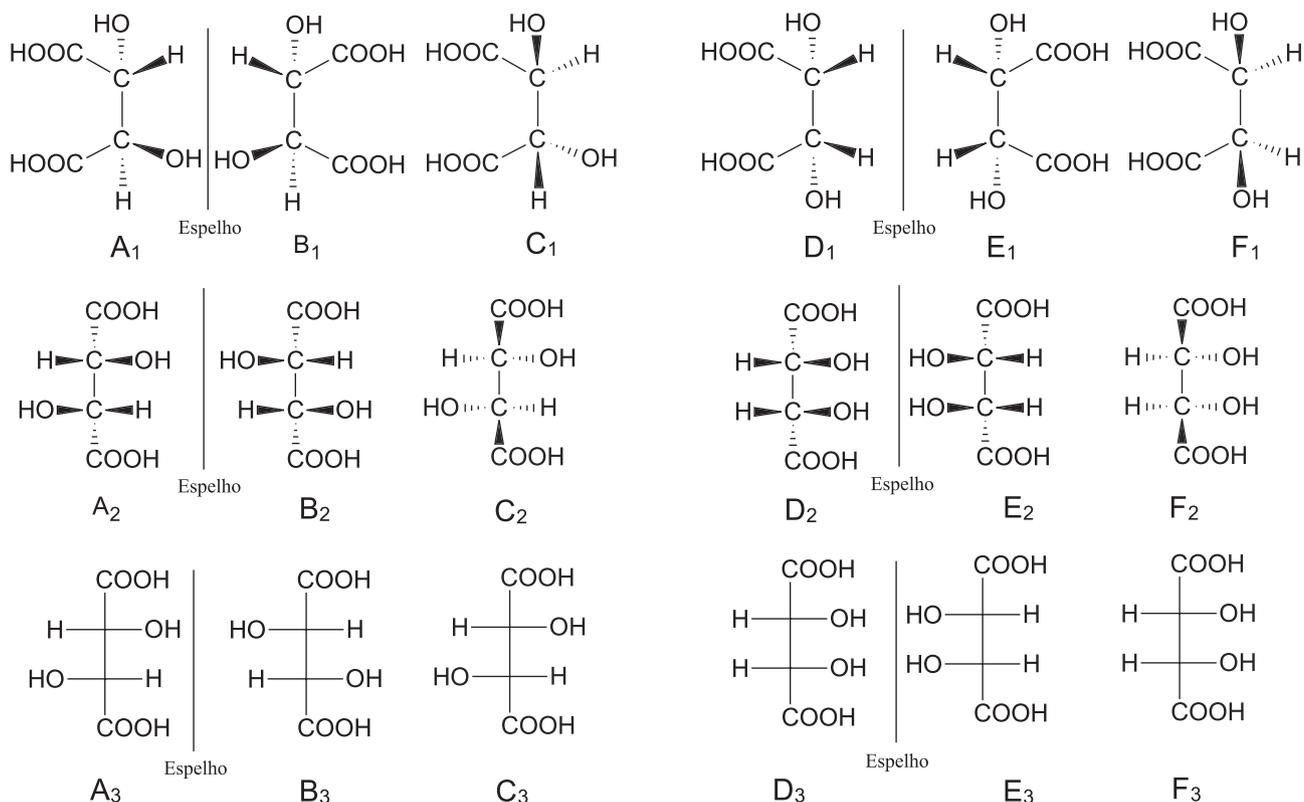


Figura 8: Estruturas dos estereoisômeros em fórmulas de projeção em perspectiva e em projeção de Fischer do ácido tartárico.

Percorso didático

No início da aula sobre isomeria óptica, o conteúdo de ensino foi contextualizado mediante explicitação da quiralidade presente em alguns compostos. Ressaltou-se que os enantiômeros apresentam as mesmas propriedades físicas como ponto de fusão e ebulição, mesma densidade e solubilidade, porém possuem diferentes propriedades químicas como interação com a luz polarizada, fazendo-a desviar-se no sentido horário ou anti-horário com mesmo ângulo de giro. Nessa perspectiva, questionaram-se os alunos: “Como podemos explicar e diferenciar os aromas cítricos, próprios do limão e da laranja, visto que as substâncias que os caracterizam são formadas pelos mesmos elementos químicos, tanto em tipo quanto em quantidade?”. Sabe-se que a diferenciação entre os aromas surge porque os enantiômeros D-(+)-limoneno entram em contato com as células sensoriais nervosas do nariz e geram uma resposta olfativa quando se é exposto à laranja, enquanto que o L-(-)-limoneno é apreciado quando em contato com o limão. Nessa comparação entre os enantiômeros do limoneno sobre sua propriedade organoléptica, o cheiro, torna-se explícito o fato de a composição tridimensional da molécula realmente afetar as propriedades físico-químicas da matéria. Segundo Islas e Buhse (2007), as moléculas dos receptores nasais podem sentir a diferença entre enantiômeros de certos agentes químicos, assim como sentimos a diferença ao colocarmos o sapato esquerdo no pé direito e vice-versa. É importante destacar que, nessa parte da aula, outros exemplos foram citados, tais como ação de remédios e fármacos, comportamento biológico de animais,

atuação de enzimas no nosso organismo, entre outros.

Dando continuidade à aula, apresentaram-se os conceitos sobre estereoisômeros, bem como os termos usados para diferenciá-los. Para tanto, foi empregado um modelo molecular de mão, o Atomlig 77 Educação do composto ácido tartárico, a fim de auxiliar os alunos a visualizar as estruturas tridimensionais dos estereoisômeros do composto supracitado. Esse modelo molecular é constituído de varetas e bolas coloridas, que representam, respectivamente, as ligações e os átomos, tornando possível mostrar ao aluno a estrutura 3D da molécula que está sendo estudada. Ainda empregando esse recurso, demonstrou-se a sobreposição das moléculas para identificar os compostos enantioméricos, diastereoisoméricos e mesocompostos. Em seguida, representaram-se as moléculas tridimensionalmente, utilizando os modelos moleculares impressos em papel A4. Utilizaram-se as moléculas A₁, B₁ e C₁ (Figura 8) para a explicação. Nesse caso, foram utilizadas duas folhas A4 com essas moléculas impressas, sendo A₁ em uma folha e B₁ e C₁ em outra folha em frente e verso. A propósito, é importante lembrar que as estruturas B₁ e C₁ também foram impressas em transparências. Com auxílio de fita adesiva, fixaram-se as estruturas A₁ e B₁ no quadro (Figura 9A), exibindo aos alunos o fato de as duas estruturas serem imagens especulares entre si. Em seguida, demonstrou-se a sobreposição das moléculas A₁ e B₁ a fim de verificar que tipo de estereoisômeros elas são. Com o auxílio da transparência com a estrutura B₁, fez-se a sobreposição com a estrutura A₁ (Figura 9B). Por se tratar de transparência, os alunos conseguiram visualizar os ligantes e suas projeções dentro do composto. Ainda na análise das

estruturas, girou-se a folha onde a estrutura B_1 está impressa em 180° no eixo horizontal, resultando na estrutura C_1 (Figura 10A). Comparou-se a estrutura C_1 com a estrutura A_1 . Diante desse quadro, os alunos verificaram que os ligantes estavam sobrepostos, mas a ligação estava virada, ou seja, o ligante estava em lados diferentes na molécula. Logo após, colocou-se a transparência da estrutura C_1 sobre a estrutura A_1 e verificou-se se são sobreponíveis ou não (Figura 10B). Nesse caso, analisaram-se as estruturas A_1 e B_1 , que são pares de enantiômeros. Repetiu-se o procedimento descrito acima com as outras estruturas contidas na Figura 8.

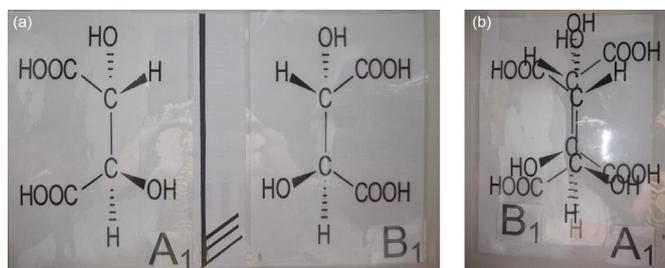


Figura 9: (A) Fotos de um isômero do ácido tartárico e sua imagem especular; (B) sobreposição dos dois estereoisômeros do ácido tartárico utilizando a metodologia das transparências.

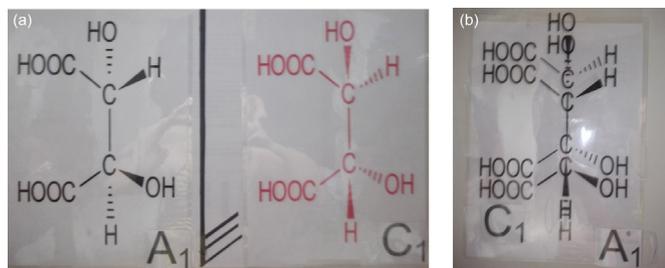


Figura 10: (A) Fotos de um isômero do ácido tartárico e sua imagem especular girada 180° na horizontal; (B) sobreposição dos dois estereoisômeros do ácido tartárico utilizando a metodologia das transparências.

O uso das transparências facilitou a visualização da justaposição das moléculas analisadas, levando os alunos a identificar se estas são sobreponíveis ou não. Depois de explorar as outras estruturas e retomar os conceitos envolvidos na aula, a turma discutiu sobre a aplicação da estereoquímica no cotidiano, conversando sobre o desenvolvimento de remédios na medicina (Coelho, 2001), feromônios na biologia (Ferreira; Zarbin, 1998; Quadros, 1998), entre outros exemplos, além da realização de exercícios para fixar o conteúdo aprendido. Em seguida, aplicou-se um questionário aos alunos para avaliar a estratégia didática desenvolvida. A seguir, apresentamos algumas considerações sobre esta.

Avaliação dos questionários

A parte final da aula versa sobre a avaliação da estratégia didática aplicada, com vistas à identificação dos fatores que auxiliaram os alunos na aquisição dos conhecimentos sobre

estereoquímica. Durante a utilização do método proposto, os alunos participaram intensamente, fazendo perguntas, dando opiniões e explicações aos colegas sobre o que entenderam. Assim como, quando questionados sobre as dificuldades que eles encontraram para entender o conteúdo de estereoquímica, relataram que a visualização espacial das moléculas foi o maior empecilho como apresentado.

A1: Minha maior dificuldade foi de visualizar a molécula 3D no plano e também passar a molécula do plano para 3D.

As dificuldades relatadas pelos alunos que participaram da estratégia didática, acima expressa, assemelham-se àquelas identificadas pelos autores supracitados no que se refere à visualização da estrutura tridimensional da molécula, bem como à transição de um modelo tridimensional para o bidimensional, conforme explicita o relato abaixo:

A2: Imaginar a molécula fora do plano e perceber se sua imagem especular é sobreponível ou não. Além disso, perceber qual é o carbono quiral.

É importante lembrar que, quando o aluno não consegue visualizar as diferenças entre as moléculas, seja em suas conformações seja em suas configurações, o ensino dos conceitos em foco se torna ininteligível. Logo, como não percebe as diferenças entre as moléculas, quer em suas conformações quer em suas configurações, não é apto a classificá-las de acordo com a teoria, pois para eles, todas as moléculas representam a mesma estrutura, o que pode ser constatado em:

A3: A principal dificuldade é entender como se analisa a molécula no plano e seus isômeros. Não só pela dificuldade de imaginar a molécula nas dimensões reais, mas também porque é complicado compreender as regras de análise dela no plano.

Quando questionados sobre a metodologia utilizada, os alunos verificaram que esta facilitou a visualização das moléculas no espaço, bem como suas sobreposições. A estratégia proposta mostra moléculas tridimensionais representadas bidimensionalmente como veriam em sua estrutura, o que contribui para seu entendimento do conceito. Por sua vez, aproxima a teoria da realidade do aluno, facilitando o aprendizado do conteúdo dado, já que a linguagem utilizada foca nos aspectos visos-espaciais das fórmulas de projeções em perspectivas e de Fischer, tornando-as mais inteligíveis para o discente. A título de exemplificação, apresenta-se a resposta abaixo, que descreve as limitações do estudo:

A5: Me auxiliou, pois dá pra pôr a transparência em cima e ver que é sobreponível, mas seria melhor se fosse um material para cada aluno.

Como as moléculas impressas no verso da folha A4 tinham suas ligações em perspectivas invertidas, estas contribuíram para que os alunos entendessem o que ocorria com suas (das moléculas) conformações durante as rotações. Portanto, as impressões permitiram-lhes ver como a molécula se comportava ao invés de apenas imaginá-la. Também lhes ensinaram como desenhar a estrutura tridimensional no plano, possibilitando-lhes entendê-la em estudos posteriores. Concomitantemente, as impressões conduziram os aprendizes ao entendimento das moléculas que posteriormente podem ser consultadas em livros, bem como manuseadas. De posse desse entendimento, os alunos tornaram-se capazes de imaginar a estrutura tridimensionalmente, bem como quando esta era rotacionada no espaço, alterando sua conformação; e capazes ainda de identificar as diferentes configurações moleculares e associar seus nomes adequadamente, como no extrato apresentado:

A3: Sim, principalmente as folhas brancas com a molécula invertida atrás. Por ela, dá para visualizar mais rápido e não causa tanta confusão. A folha transparente ajuda bastante na comparação entre as estruturas.

A6: Auxiliou, pois segue um padrão de “desenhos” e facilita bastante a visualização, como vemos nas provas e nos livros.

Durante a aula de estereoquímica, foram utilizados os modelos de mão (concreto) e as estruturas impressas como recurso para visualização das estruturas moleculares (representacionais). Os alunos compararam os métodos utilizados em sala de aula a fim de avaliar a estratégia. As análises das opiniões apresentadas pelos alunos demonstram que o modelo impresso atenua a maior dificuldade destes: a representação das moléculas em seus cadernos, onde precisam desenhar a molécula 3D em 2D, dando-lhe realismo. Tal feito não pode ser realizado pelos modelos de mão, geralmente utilizados como identificado pelos alunos:

A7: Para aprender, eu prefiro as estruturas impressas. O modelo de mão permite uma ótima visão, mas não ajuda a entender como fica no caderno.

A9: As estruturas impressas são melhores para o entendimento, porque dá uma visão planificada da molécula.

A ideia principal não é apresentar um método autossuficiente que inutilize os demais, mas que possa complementar os existentes de forma que torne o aprendizado mais eficaz. Essa visão foi apresentada por vários alunos, uma vez que se aproveitaram de características bem distintas de cada recurso empregado.

A8: Prefiro os dois. Porque um complementa o

outro. O modelo impresso é mais fácil de visualizar e estudar e o modelo de mão Atomlig é mais divertido e mais fácil de mudar os elementos de posição.

A10: Acho que ambos são muito bons para o aprendizado, mas cada um em certas características. A utilização do modelo de mão Atomlig ajudou na vivacidade da aula nos auxiliando a visualizar no espaço as moléculas, mas a metodologia das estruturas impressas foram melhores no que se refere à imagem especular e comparação.

Após analisar as declarações dos alunos, pode-se apontar que a metodologia proposta por este trabalho auxilia o educando no processo de aprendizagem de estereoquímica, propondo uma estratégia de ensino pautada na visualização das moléculas estudadas por meio de comparações, justaposição e sobreposição destas.

Considerações finais

Vários recursos são utilizados pelos professores durante suas aulas com a finalidade de auxiliar o aluno no processo de aquisição de conhecimento, diminuindo ou atenuando dificuldades intrínsecas ao conteúdo de estereoquímica. Levando em consideração esse fato, as metodologias costumeiramente têm como objetivo criar um modelo real que represente uma molécula que era apenas imaginária, facilitando sua visualização em suas diferentes conformações.

A metodologia aqui proposta foi aplicada aos alunos como mais um meio de facilitar a visualização da estrutura tridimensional molecular e suas diferentes configurações e conformações. Por um lado, o método instrucional proposto articula a capacidade dos enantiômeros de produzir diferentes respostas sensoriais e seus efeitos biológicos com a abrangência da simetria especular na natureza. Por outro lado, a estratégia utilizada contempla os modelos virtuais e concretos para o ensino de conceitos químicos de alto domínio espacial.

Conforme constatado na avaliação dos sujeitos de aprendizagem, esta cumpre bem seu papel, uma vez que facilita a compreensão do estudante sobre a estrutura tridimensional molecular, auxiliando-o na visualização das representações de estereoisômeros em suas fórmulas de projeções em perspectivas e de Fischer, tornando possível a comparação e a identificação destas. Dessa forma, pode-se concluir que a metodologia proposta é viável, uma vez que atende aos requisitos pelos quais foi idealizada: auxiliar os alunos no aprendizado dos conteúdos das aulas de isomeria espacial. Os resultados também demonstraram que os discentes preferem a metodologia apresentada por suprir melhor suporte no aprendizado, descomplicando a teoria da estereoquímica. Outra vantagem do método proposto é seu custo: o material utilizado na confecção deste é de baixo custo, simples e de fácil acesso, podendo ser adquirido em qualquer papelaria.

Gláucia Aparecida Andrade Rezende (glauucia_rezende@yahoo.com.br), licenciada, bacharel e mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), doutoranda em Química (UFU), é professora do Instituto de Química (IFG), Campus Itumbiara, Uberlândia, MG – BR. **Nicéa Quintino Amauro** (nicea@iqufu.ufu.br), bacharel e doutora em Ciências pela Universidade de São Paulo, Instituto

de Química de São Carlos (IQSC/USP), é professora do Instituto de Química (UFU). Uberlândia, MG – BR. **Guimes Rodrigues Filho** (guimes@ufu.br), bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (USP), mestre e doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), é professor associado do Instituto de Química (UFU). Uberlândia, MG - BR.

Referências

ACD/LABS. *ACD/ChemSketch*. 2012. Disponível em: <<http://www.ACD/Labs.com/resources/freeware/chemsketch/>>. Acesso em: 16 set. 2012.

AL-BALUSHI, S.M.; AL-HAJRI, S.H. Associating animations with concrete models to enhance students comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 15, p. 47-58, 2014.

BRUCE, P.Y. *Química orgânica*. v. 1. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

COELHO, F.A.S. Fármacos e quiralidade. *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola*. n. 3, p. 23-32, 2001.

DIAS, A.G.; SOARES, R.O. Quiralidade em moléculas e cristais. *Química Nova*, v. 32, n. 8, p. 2230-2233, 2009.

FERREIRA, J.T.B.; ZARBIN, P.H.G. Amor ao primeiro odor. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 3-6, 1998.

ISLAS, R.J.; BUHSE, T. La vida em uma excursión al origen de la assimetria em la naturaliza. *Ciencias*, n. 87, p. 4-10, 2007.

KUMI, B.C.; OLIMPO, J.T.; BARTLETTA, F.; DIXON B. L. Evaluating the effectiveness of organic chemistry textbooks in promoting representational fluency and understanding of 2D-3D diagrammatic relationships. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 14, n. 2, p. 177-187, 2013.

McMURRY, J. *Química orgânica*. v. 1. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

QUADROS, A.L. Os feromônios e o ensino de química. *Química Nova na Escola*, n. 7, p. 7-10, 1998.

QUEIROZ, J.F.; RECENA, M.C.P.; SOUZA, O.P. Material alternativo para discussão de isomeria. In: ENCONTRO DO PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 1., 2010. *Caderno de Resumos*. Campo Grande, 2010.

RAUPP, D.; SERRANO, A.; MOREIRA, M.A. Desenvolvendo

habilidades visuoespaciais: uso de software de construção de modelos moleculares no ensino de isomeria geométrica em química. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 4, n. 1, p. 65-78, 2009.

RODRIGUES, E.A.; REZENDE, G.A.A.; SILVEIRA, I.D.; SILVA, L.O.P.; MENDONÇA, A.F.; SANTOS, V.F. Construção de um modelo molecular com materiais alternativos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011. *Anais...* São Luís, 2011a. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/6/6-611-10575.htm>>. Acesso em 15 dez. 2011.

_____. Aplicação de modelos moleculares no ensino de isomeria óptica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011. *Anais...* São Luís, 2011b. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/6/6-611-10575.htm>>. Acesso em 15 dez. 2011.

ROMERO, J.R. *Fundamentos de estereoquímica dos compostos orgânicos*. Ribeirão Preto: Holos, 1998.

RUIZ-CHICA, A.J.; MEDINA, M.A.; URDIALES, J.L.; SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, F. One century after Fischer: better tools for teaching the stereochemistry of carbohydrates. *Biochemical Educational*, v. 27, p. 7-8, 1999.

SILVA; SILVA. Dificuldades de aprendizagem no ensino da Isomeria para alunos do Ensino Médio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 47., 2007. *Anais...* Natal: 2007. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/6/6-294-521.htm>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

SOLOMONS, T.W.G.; FRYHLE, C.B. *Química orgânica*. v. 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

SOUTO, C.R.O.; DUARTE, H.C. *Cicloalcanos*. Disciplina Química da Vida. Natal: EDUFRRN, 2006.

STULL, A.T.; BARRETT, T.; HEGARTY, M. Usability of concrete and virtual models in chemistry instruction. *Computers in Human Behavior*, v. 29, n. 6, p. 2546-2556, 2013.

WU, H-K.; SHAH, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, v. 88, n. 3, p. 465-492, 2004.

Abstract: *Drawing optical isomers.* In the study of the concept of stereochemistry, the students' greatest difficulty is the visualization of the molecules in their spatial conformations. We therefore developed a teaching strategy, which is to represent stereoisomers in their formulas for perspective projections and Fischer projections. The structures were prepared with the use of the software ACD/ChemSketch. They were printed in A4 sheets and in transparencies, for the students to visualize the spatial forms of the molecules and the changes in the configuration of the isomers. The methodology proposed in this paper was applied to third-year students of the Integral Integrated Technical Chemistry Course, at the Federal Institute of Science and Technology of Goiás (IFG), Itumbiara Campus. The students answered a questionnaire about the strategy applied in the classroom, at the end of its development. The analysis of their answers revealed that the methodology met its objectives, as it helped the students understand stereochemistry. The results also showed that when the students study isomerism, they prefer the printed model to improve their understanding.

Keywords: stereochemistry, organic chemistry, chirality.