



**A CONTRIBUIÇÃO DOS MODELOS MOLECULARES NO ENSINO DE ISOMERIA
EM QUÍMICA ORGÂNICA**

**THE CONTRIBUTION OF MOLECULAR MODELS IN THE TEACHING OF
ISOMERISM IN ORGANIC CHEMISTRY**

HIGA, Vanessa Mayumi¹
SILVA, André Ribeiro da²

RESUMO

Dentro do ensino de química orgânica, o conceito de isomeria é de suma importância, já que está presente no nosso cotidiano. No entanto esse assunto é um dos mais difíceis para a compreensão dos alunos. O processo de ensino-aprendizagem em química orgânica enfrenta alguns obstáculos como aulas expositivas sem contextualização com o cotidiano do aluno, ensino baseado em memorização de nomenclaturas e fórmulas de compostos orgânicos, tornando a química ainda mais abstrata para o aluno. Considerando-se que a química é uma ciência bastante visual, o uso de representações visuais como modelos moleculares pode ser uma ótima estratégia de ensino, uma vez que auxilia na visualização tridimensional de moléculas, tornando-as mais acessíveis para a compreensão dos conceitos de isomeria, no qual utiliza-se muito a habilidade visual para distinguir os compostos isômeros. Há uma variedade de modelos moleculares que podem ser empregados no ensino de química como modelos comerciais, modelos construídos com materiais de baixo custo e modelos computacionais, por exemplo. Cabe o professor empregar o modelo mais apropriado para tornar a aprendizagem significativa para o aluno. Os modelos moleculares se mostram aliados no processo de ensino-aprendizagem que podem contribuir positivamente para a compreensão dos conceitos de isomeria pelos alunos.

Palavras-chave: Modelos moleculares. Isomeria. Estratégia de ensino. Química orgânica.

ABSTRACT

In organic chemistry teaching, the isomerism concept is of paramount importance, as it is present in our daily lives. However, this subject is one of the most difficult for students to understand. The teaching-learning process in organic chemistry faces some obstacles such as lectures without contextualization with the student's daily life,

¹ Graduação do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, pela Universidade Federal do ABC. E-mail: higavm@gmail.com

² Orientador do TCC. Doutor em Ciências da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Comportamento e Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade de Brasília. E-mail: andreribeiro@unb.br

teaching based on memorization of nomenclatures and formulas of organic compounds, making chemistry even more abstract for the student. Considering that chemistry is a very visual science, the use of visual representations such as molecular models can be a great teaching strategy, since it helps in the three-dimensional visualization of molecules, making them more accessible for understanding the concepts of isomerism, in which the visual ability is heavily used to distinguish isomers compounds. There are a variety of molecular models that can be used in chemistry teaching, such as commercial models, models built with low-cost materials and computational models, for example. It is up to the teacher to employ the most appropriate model to make learning meaningful for the student. Molecular models prove to be allies in the teaching-learning process that can positively contribute to the understanding of isomerism concepts by students.

Keywords: Molecular model. Isomerism. Teaching strategy. Organic Chemistry

1. INTRODUÇÃO

Observando o cenário de aprendizagem deficitária dos alunos em relação ao conteúdo de isomeria em química orgânica, pode-se dizer que um dos obstáculos no ensino de isomeria é quanto a abordagem empregada, considerando que o ensino de química orgânica geralmente é baseado em ensinar fórmulas e nomenclatura de compostos, o que acaba tornando desgastante para o aluno em apenas memorizar e não observar uma aplicação prática do conteúdo ensinado em sala de aula. Esse modelo de transmissão-recepção de conhecimento não motiva o aluno a estudar e a compreender o conhecimento químico, uma vez que é bastante abstrato para o seu cotidiano o que distancia mais o interesse do aluno.

Dado a importância da aprendizagem desse conteúdo e considerando que o ensino de isomeria é conhecido como um dos assuntos de maior dificuldade para compreensão, é de suma importância adotar variadas abordagens e estratégias de ensino para melhorar o processo de ensino-aprendizagem. Para esse conteúdo são necessárias habilidades visuoespaciais a fim de interpretar e gerar mentalmente as representações estruturais para a melhor compreensão do assunto.

Este artigo traz como ponto de discussão o uso de modelos moleculares no ensino de isomeria, mostrando as vantagens em empregar esta ferramenta e apresentando diferentes exemplos de modelos, desde os mais completos, porém mais

custosos, até os mais acessíveis economicamente e de fácil acesso. Desta forma, os modelos podem ser aplicados em diferentes realidades escolares.

Os modelos moleculares são projeções tridimensionais que tem se mostrado como uma estratégia bastante significativa para o ensino de isomeria, uma vez que possibilita a visualização tridimensional de moléculas químicas, o que pode ser vantajoso para a aprendizagem do aluno. O ensino de isomeria acaba sendo muitas vezes bastante abstrato para os alunos, considerando que estes têm dificuldades em observar o arranjo espacial de uma molécula desenhada no papel, no plano bidimensional.

Apesar dos modelos moleculares serem conhecidos há algum tempo e dado os benefícios que estes trazem na aprendizagem ao aluno, destaca-se a importância de se discutir e apresentar essa ferramenta de ensino, visto que ainda se vê uma baixa adesão dos professores em empregar esses modelos.

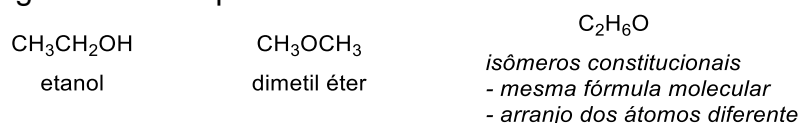
2. QUÍMICA E QUIRALIDADE

A química é uma das áreas das ciências naturais que se estuda a matéria e as suas transformações, isto é, as mudanças que ela sofre. O estudo desta ciência se baseia no comportamento de átomos e moléculas e suas interações. A química está presente em todo material e em muitos processos do nosso cotidiano, seja no preparo de um café, o alimento que ingerimos e o seu processo de cozimento, a pintura que reveste a nossa casa e assim por diante (ATKINS, JONES, 2012).

O estudo de um átomo em especial da tabela periódica, o carbono, representa uma grande área da química, a química orgânica. Os compostos de carbono e suas reações são inúmeras e de grande importância que necessitou uma área destinada para o seu estudo. Átomos de carbono podem se ligar formando cadeias e anéis resultando em uma grande variedade de compostos, desde os mais simples até os mais complexos como gigantes biomoléculas como proteínas. Compostos orgânicos, ou seja, compostos que possuem carbono em sua estrutura, compõem materiais de grande importância para o nosso dia-a-dia desde materiais de tecnologia à medicamentos (BRUICE, 2007; ATKINS, JONES, 2012).

Dentro da química dos compostos orgânicos, um assunto de suma importância a ser tratado é o conceito de isomeria. A isomeria ocorre quando há duas ou mais substâncias que possuem a mesma fórmula molecular. Quando dois ou mais compostos possuem a mesma fórmula e seu arranjo e sua conectividade dos átomos é diferente, é chamado de isômeros constitucionais. Um exemplo a ser mencionado é o etanol e o dimetil éter, que possuem a mesma fórmula molecular C_2H_6O , e, portanto, são isômeros (Figura 1). No entanto diferem no modo como seus átomos estão conectados (BRUICE, 2007).

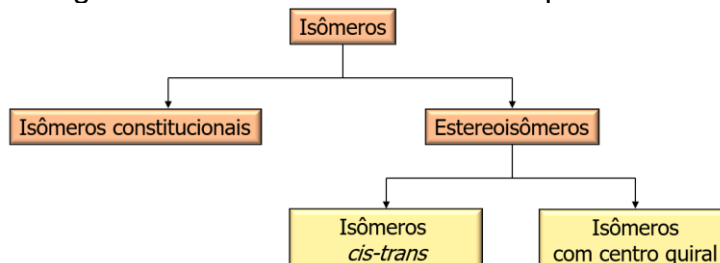
Figura 1 - Exemplo de isômeros constitucionais: etanol e dimetil éter



Fonte: Adaptado de BRUICE, 2007

Já quando dois ou mais compostos possuem a mesma fórmula, a mesma conectividade, mas os átomos possuem arranjos no espaço diferentes, eles são classificados como estereoisômeros (ATKINS, JONES, 2012). Portanto, a estereoquímica se dedica ao estudo do arranjo dos átomos no espaço. Os estereoisômeros são divididos em duas classes: os isômeros *cis-trans* (diastereoisômeros) e os isômeros que possuem centro quirais (enantiômeros) (Figura 2) (BRUICE, 2007; MCMURRY, 2012).

Figura 1 - Resumo dos diferentes tipos de isômeros



Fonte: Adaptado de BRUICE, 2007

Os diastereoisômeros são isômeros *cis-trans*, também chamados de isômeros geométricos. Um exemplo de isomeria *cis-trans* é o ácido butenodióico, no qual sua

forma *trans* é conhecida usualmente como ácido fumárico e na sua forma *cis* é denominada de ácido maleico (Figura 3). Essas duas formas possuem propriedades físicas e químicas diferentes. Enquanto a forma *trans* faz parte do processo de produção celular no metabolismo humano, a forma *cis* é tóxica (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009).

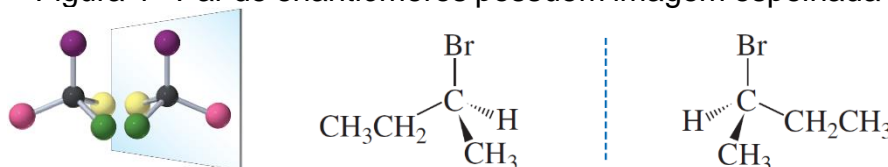
Figura 3 - Isômeros cis-trans do ácido butenodióico



Fonte: Adaptado de RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009

Já os enantiômeros possuem um carbono chamado de centro assimétrico (centro quiral) e eles são sempre classificados em pares, onde um é uma imagem espelhada do outro (Figura 4). Enantiômeros são moléculas diferentes, uma vez que mesmo rotacionando espacialmente a molécula, não é possível sobrepô-las, isto é, apresentam quiralidade. Os enantiômeros são idênticos em ligação e em constituição. O que difere é o arranjo espacial das moléculas que geram configurações distintas, podendo ter configuração *R* ou *S*, segundo o sistema de nomenclatura de Cahn-Ingold-Prelog. Também, possuem propriedades distintas como por exemplo a atividade óptica e possuem diferenças nas propriedades, principalmente quanto as atividades biológicas (AITKEN, KILÉNYI, 1992; BRUICE, 2007).

Figura 4 - Par de enantiômeros possuem imagem espelhada um do outro

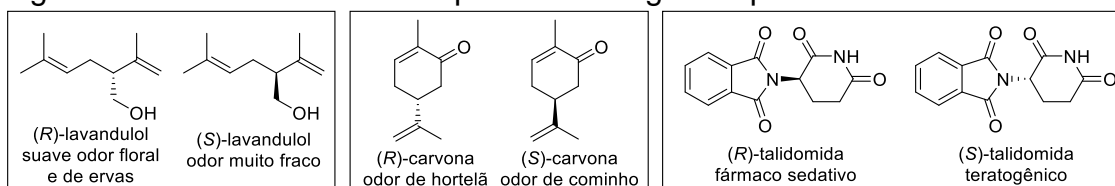


Fonte: Adaptado de BRUICE, 2007

Sistemas biológicos como em seres humanos, plantas, animais, apresentam quiralidade e, portanto, os enantiômeros passam a ter propriedades distintas (Figura 5). Como os enantiômeros são diferentes em questão espacial, eles interagem de

maneira distinta com receptores quirais dentro do organismo, conferindo atividade biológica diferente. Logo, as interações entre o enantiômero e o receptor quiral estão relacionadas diretamente com a estereoespecificidade do composto ao sítio ativo do receptor (BROOKS, GUIDA, DANIEL, 2011).

Figura 5 - Par de enantiômeros possuem imagem espelhada um do outro



Fonte: Adaptado de SAKAUCHI *et al.*, 2005; WERKHOFF *et al.*, 1993; ERIKSSON *et al.*, 2000

O lavandulol, componente do óleo essencial de lavanda, é bastante utilizado na indústria para controle de fragrâncias e de alimentos. Os enantiômeros *R* e *S* diferem na qualidade do odor, enquanto o enantiômero *R* possui um suave odor floral e de ervas, a forma *S* quase não possui odor (SAKAUCHI *et al.*, 2005). Já a carvona em sua forma *R* possui odor de hortelã, enquanto o enantiômero *S* possui odor de cominho (WERKHOFF *et al.*, 1993). O exemplo do fármaco talidomida é o caso mais conhecido, por ter ocasionado milhares de casos de má formação de fetos. O medicamento foi introduzido no mercado na década de 50 como um sedativo e comumente utilizado por mulheres grávidas para melhorar o sono e os enjoos. Entretanto em 1961, o medicamento foi banido, pois ele estava relacionado com teratogenicidade e neuropatia. Foi associado que o enantiômero *R* era responsável pela atividade sedativa enquanto que a forma *S* era responsável pela teratogenia (ERIKSSON *et al.*, 2000).

2. DESAFIOS DO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE QUÍMICA

A Química é uma das disciplinas que compõe o currículo do Ensino Médio, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais, cuja aprendizagem deveria proporcionar a compreensão das transformações que ocorrem no mundo físico de

modo amplo e integrado, possibilitando os alunos a relacionar os conteúdos aprendidos com as diversas situações vividas no dia-a-dia. Desta maneira, o aluno é capaz de julgar com fundamentos os fatos e informações decorrentes no seu cotidiano, tomando-se decisões autonomamente e tornando-se mais integrados com o mundo enquanto indivíduos e cidadãos (BRASIL, 1999).

No entanto, o ensino de Química nas escolas é na maioria das vezes apresentado de modo essencialmente acadêmico, focando-se apenas na transmissão do conhecimento. Especificamente sobre a química orgânica, ela é apresentada geralmente na terceira série do Ensino Médio nas escolas e é ensinada de maneira teórica e sem contextualização, proporcionando um ensino abstrato, subjetivo o que acaba gerando uma aprendizagem superficial para o aluno. Estes se sentem presos em memorizar fórmulas e nomenclaturas, o que acaba tornando desgastante e distanciando-os de observar os fenômenos químicos de maneira aplicada em seu cotidiano. Isso faz com que o aluno considere a química de difícil compreensão, uma vez que somado a todos esses desafios, muitos alunos possuem dificuldades conceituais (COSTA, 2019; ROCKENBACH et al., 2020). Segundo Maia, Silva e Wartha (2008), no Brasil ensina-se ciências de maneira abstrata, o que não promove a alfabetização científica que devido ao ensino deficiente e superficial, dificulta a aprendizagem do aluno (apud MELO et al., 2018).

A associação do mundo macroscópico com os modelos microscópios também é um grande desafio no ensino de química, visto que há uma grande dificuldade nos alunos em associar essas duas categorias a fim de relacionar que o mundo macro é formado por partículas microscópicas (COSTA, 2019).

Desta forma, cabe o professor utilizar estratégias de ensino mais práticas, chamativas e adequadas para atrair o interesse do aluno. Além de trabalhar o conteúdo de química de maneira mais contextualizada a fim de relacionar com o dia-a-dia do aluno e promover uma aprendizagem mais significativa (COSTA, 2019).

3.A QUÍMICA É UMA CIÊNCIA VISUAL

Um ponto bastante relevante a ser mencionado é que a Química é por sua essência, uma ciência experimental e bastante visual, e a ausência do teor prático e experimental acaba afastando os alunos dos conhecimentos químicos, o que torna o processo de ensino-aprendizagem bastante distante (MELO et al., 2018).

Na química é frequente a manipulação, tradução e interpretação de representações químicas, que exige do aluno certas habilidades cognitivas que são desenvolvidas com a alfabetização visual. A alfabetização visual, também chamada de alfabetização visuoespacial ou tridimensional, tem como objetivo central “desenvolver as habilidades que compreendem a capacidade de entender (ler), usar (escrever), pensar e aprender, e expressar-se em termos de imagens; ou seja, pensar visualmente” (HORTIN, 1983 apud ROCKENBACH et al., 2020, p. 5). Uma boa estratégia para auxiliar na alfabetização visuoespacial é o uso de representações, visto que é possível apresentar uma grande quantidade de informações de maneira visual do que de modo verbal (ROCKENBACH et al., 2020). Segundo Raupp et al. (2009) “representação é o conjunto das formas de linguagem que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento” (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009, p. 67).

A habilidade de visualização é um fator essencial para a aprendizagem de química, pois as “habilidades visuoespaciais que dão suporte para realizar determinadas operações cognitivas espacialmente” (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009, p. 66), auxiliando, portanto, na compreensão de conceitos científicos. A partir dessas operações, é possível internalizar as visualizações externas para poder manipular mentalmente as estruturas, podendo-se externalizá-las após esse processo (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009; ROCKENBACH et al., 2020).

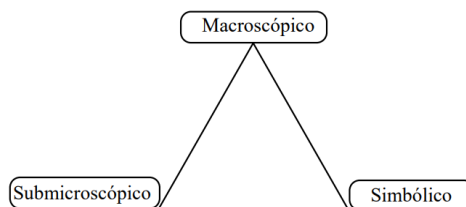
Ressalta-se a importância de abordar esse aspecto da visualização para o ensino de isomeria, dado que muitos alunos não estão habituados com a habilidade visual em que esse conteúdo requer para o melhor entendimento da transposição da molécula representada no papel em 2D para a representação em 3D. Assim, o uso de ferramentas visuais em três dimensões no ensino de isomeria pode ser uma estratégia eficaz, de modo a auxiliar o estudante a desenvolver as habilidades visuoespaciais e a resolver problemas deste tema (ROCKENBACH et al., 2020).

4.OS TRÊS NÍVEIS DE REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO

Pelo fator abstrato da química, é interessante utilizar variadas formas de representação no ensino de química, principalmente no que diz respeito as ferramentas visuais. Integrando os níveis de representação do conhecimento químico como: macroscópico, submicroscópico e simbólico (PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

O modelo dos três níveis de representação do conhecimento químico (Figura 6) foi proposto por Johnstone em 1982, pesquisador pioneiro a relacionar os níveis de representação. A primeira representação, o nível macroscópico, também conhecido como nível macro, está relacionado com o concreto, o que é tangível, o que pode ser visualizado e mensurado, corresponde aos fenômenos observáveis em uma dimensão visível. O nível submicroscópico, ou nível submicro, diz respeito ao nível molecular, do atômico, diz respeito aos movimentos e arranjos de moléculas, partículas e átomos. Já o nível simbólico, também chamado de representacional, expressa a representação química que corresponde a símbolos, equações e fórmulas (WARTHA, REZENDE, 2011; PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

Figura 6 - Os três níveis de representação do conhecimento Químico proposto por Johnstone



Fonte: WARTHA, REZENDE, 2011

Entretanto, a maioria dos educadores em química focam em ensinar apenas os níveis submicro e o simbólico, esquecendo-se do nível macro, o que dificulta a aprendizagem do aluno a construir relações entre os três níveis de representação (TALANQUER, 2011). Normalmente os estudantes tem uma grande dificuldade em entender a química sob uma visão microscópica. Rocha e Cavicchioli

(2005) apontam a necessidade de integrar os níveis microscópico e macroscópico para que os estudantes consigam relacionar e interpretar o conteúdo químico de uma maneira mais facilitado (apud PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

A compreensão do conteúdo de Química demanda de um empenho maior dado que é uma ciência abstrata e com inúmeros conceitos. A interação entre os três níveis representacionais é considerada essencial para a aprendizagem do conhecimento químico. Segundo Wu e Shah (2004 apud PAULETTI et al., 2014), há uma necessidade de integração e uso concomitante dos três níveis representacionais, de forma que quanto mais vastas forem as formas de representação da química, maiores são as chances do sucesso na aprendizagem. A integração do nível macro, submicro e simbólico é desafiador, haja vista que o educador necessita de estratégias de ensino que envolvam os três níveis supracitados (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009; PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

5.0 USO DOS MODELOS MOLECULARES

Estratégias de ensino empregando modelos moleculares mostram-se bastante vantajosas. Esse recurso didático possibilita uma visualização tridimensional de moléculas e ilustra conceitos considerados difíceis para os estudantes, o que contribui para a construção de representações simbólicas e microscópicas no ensino de isomeria. Além de ser um instrumento que auxilia na exploração dos conceitos químicos e na compreensão adicional quanto a configuração espacial dos átomos. O uso dessas representações favorece a qualidade do ensino, uma vez que torna a química orgânica um pouco mais concreta para o aluno e acrescenta maior motivação ao estudo de química orgânica (PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014; MELO et al., 2018; ROCKENBACH et al., 2020).

Gilbert (2005 apud RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009) afirma em seu trabalho de revisão que a utilização de modelos moleculares exerce um papel fundamental, de modo que torna as representações das estruturas químicas mais acessíveis para a compreensão das características tridimensionais, desenvolvendo a habilidade e capacidade de visualização tridimensional dos alunos. No ensino de

isomeria faz necessário a visualização tridimensional das moléculas para melhor entendimento quanto às diferenças do arranjo espacial dos átomos a fim de diferenciar enantiômeros, por exemplo (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009; ROCKENBACH et al., 2020).

Muitos alunos relatam dificuldade em compreender as diferenças dos enantiômeros quando observados as estruturas desenhadas em 2D, no papel. É de fundamental importância a transposição da representação 2D para o 3D para a compreensão da isomeria. Muito se limita no entendimento de isomeria ao utilizar apenas as representações em 2D, uma vez que isso pode dificultar a compreensão dos alunos que não estão familiarizados em projetar mentalmente uma visualização 3D das moléculas. Os modelos moleculares auxiliam nessa observação tridimensional e contribuem para um melhor entendimento das diferenças entre os dois enantiômeros (ROCKENBACH et al., 2020).

Além dos modelos moleculares, é possível realizar a transposição 2D para o 3D empregando-se folhas com impressão frente e verso de moléculas ou também utilizando a impressão de pares de enantiômeros em transparências, com o objetivo de ilustrar a não sobreposição das imagens especulares, conforme Rezende, Amauro e Rodrigues Filho (2016) apontam em seu trabalho (apud ROCKENBACH et al., 2020). No entanto, Vergnaud (1992, apud ROCKENBACH et al., 2020) defende que as representações dos modelos moleculares é a que fornece o maior número de informações sobre a estrutura química da molécula, e portanto, são considerados mais significantes para o processo de conceitualização (ROCKENBACH et al., 2020).

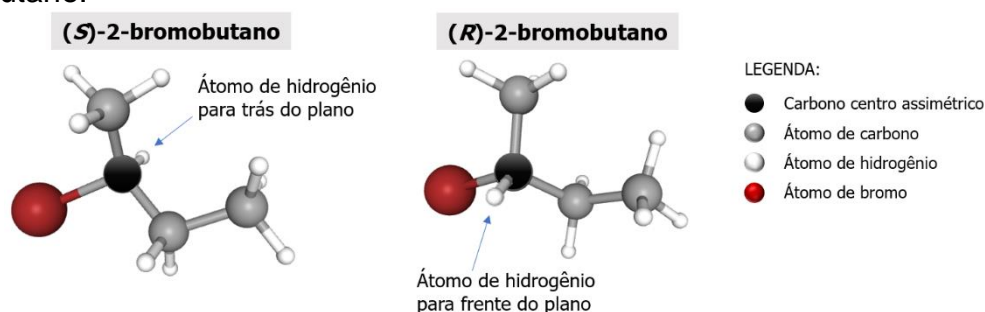
Considerando que há muitas possibilidades de modelos moleculares, onde uns podem expressar um nível de detalhamento melhor do que outros, é fundamental que o professor empregue modelos apropriados que serão mais significativos para a aprendizagem do aluno, levando em conta o nível de desenvolvimento cognitivo de seus alunos (ROCKENBACH et al., 2020).

Se o estudante é capaz de resolver problemas de isomeria a partir de representação em 2D, as representações 3D não se fazem tão necessárias, podendo ser substituídas pelas projeções mais simples. Entretanto esse aspecto depende do nível de desenvolvimento cognitivo dos alunos. Já os alunos que possuem maior

dificuldade de visualização tridimensional, o uso dos modelos moleculares concretos é mais apropriado como estratégia de ensino, já que os modelos são um suporte de visualização para poderem desenvolver suas habilidades visuoespaciais (ROCKENBACH et al., 2020).

Para ilustrar a importância dos modelos moleculares, toma-se como exemplo a molécula de 2-bromobutano mostrado na Figura 4 no início do texto. Intrinsecamente é difícil de notar pela projeção 2D que os dois enantiômeros (*S*) e (*R*) são diferentes. Conforme mostra a figura, há um espelho, indicando que eles são imagens espelhadas e, portanto, não são sobreponíveis. Agora, quando essas moléculas são projetadas tridimensionalmente (Figura 7), fica mais fácil de notar a diferença entre elas. A Figura 7 mostra que o enantiômero (*S*) possui um átomo de hidrogênio do carbono assimétrico voltado para trás do plano, enquanto que o enantiômero (*R*) possui o átomo de hidrogênio projetado para frente do plano. Ao tentar sobrepor essas duas moléculas, será observado que não é possível sobrepô-las, indicando que são moléculas distintas. A diferenciação desses enantiômeros ocorre de maneira dificultada no plano 2D, entretanto a representação 3D é capaz de revelar as diferenças entre as moléculas (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009).

Figura 7 - Projeção tridimensional dos enantiômeros (*S*) e (*R*) de 2-bromobutano.



Fonte: Adaptado de PubChem

Sem a projeção 3D, os alunos necessitam visualizar a configuração tridimensional mentalmente e comparar as estruturas, o que torna o processo mais difícil. Essa sequência de operações cognitivas mostra que ser capaz de compreender

e manipular mentalmente é um fator essencial para os estudantes, indicando a importância da alfabetização visual (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009).

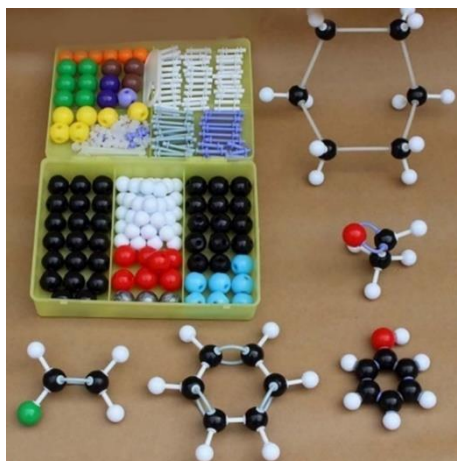
Essa abordagem integrando o modelo molecular, é capaz de abranger o nível submicro e o simbólico. O nível macro pode ser complementado, utilizando-se um exemplo no cotidiano do aluno, trazendo-se a contextualização para os momentos vividos. Indicar que os diferentes enantiômeros podem apresentar propriedades radicalmente diferentes é um fator muito importante. Comentar a diferença da relação estrutura-atividade, principalmente de compostos biologicamente ativos como fármacos, é um ponto relevante. Considerando que no corpo humano há receptores biológicos, que podem apresentar diferença tridimensional, determinado enantiômero pode se ligar ou não a esse receptor, resultando em um efeito do medicamento ou efeito indesejado (ROCKENBACH et al., 2020).

5.1 TIPOS DE MODELOS MOLECULARES

Os modelos moleculares utilizados podem variar de material, desde os comerciais, os modelos com construção simples de baixo custo e até modelos computacionais em que é possível simular e realizar animações com as moléculas em estudo (ROCKENBACH et al., 2020).

Os modelos moleculares tradicionalmente mais conhecidos no ensino de química orgânica são os kits de modelos moleculares comerciais (Figura 8), contendo esferas de diferentes cores, cada uma representando um elemento químico; hastes que representam as ligações químicas, podendo ser hastes retas, curvas ou de cores diferentes. Com esses modelos, é possível montar inúmeras moléculas.

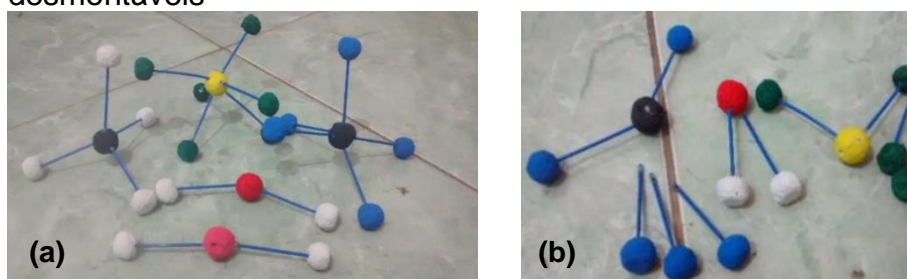
Figura 8 – Kit de modelo molecular



Fonte: Americanas

Além dos modelos moleculares comerciais é possível encontrar na literatura outros tipos de modelos. Melo et al. (2018) propuseram a construção de um modelo molecular a partir de materiais de baixo custo, recicláveis e de fácil acesso, como papel higiênico, cola branca, tinta guache, pincel e palitos de hastes flexíveis de algodão. Em seu trabalho, Melo et al. (2018) descrevem o procedimento de confecção desses modelos moleculares de baixo custo (Figura 9). Cada elemento químico possui uma cor para facilitar a identificação visualmente (MELO et al., 2018).

Figura 9 – Modelos moleculares de baixo custo. (a) Moléculas montadas (b) Partes desmontáveis



Fonte: MELO et al., 2018

Para os autores, além do modelo proposto ser simples, de fácil reprodução, esses modelos moleculares se mostram como uma excelente alternativa frente aos modelos moleculares comerciais, uma vez que estes são bastante caros. Deve-se considerar também outros aspectos atrativos para o uso desses modelos alternativos como custo acessível, montagem facilitada, resistência mecânica e maleabilidade, o

que permite desencaixar e encaixar os palitos das ligações nos átomos representados pelas esferas coloridas. Isso mostra que o modelo é bastante prático do ponto de vista que os próprios alunos podem montar as moléculas, além da praticidade de poder desmontar para facilitar o transporte e armazenagem destes materiais (MELO et al., 2018).

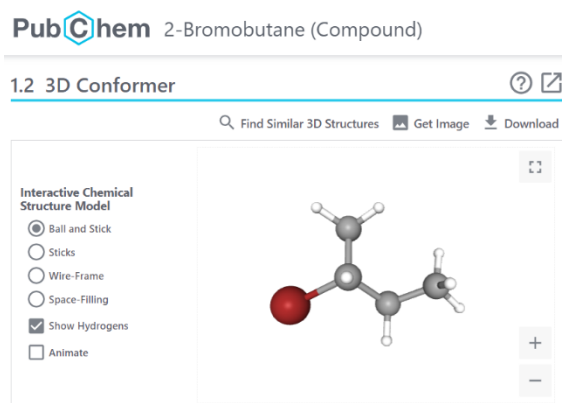
Eles podem ser adaptados e alterados conforme a necessidade, desta maneira esses modelos podem ser aplicados para moléculas orgânicas e inorgânicas, no ensino de geometria das moléculas, ligações químicas ou para o conteúdo de hibridização, por exemplo (MELO et al., 2018).

Além disso, para a formação de docentes de química é interessante que se adquira habilidades para a preparação de materiais didáticos alternativos, considerando que docentes podem atuar em escolas com poucas condições de infraestrutura e materiais (MELO et al., 2018).

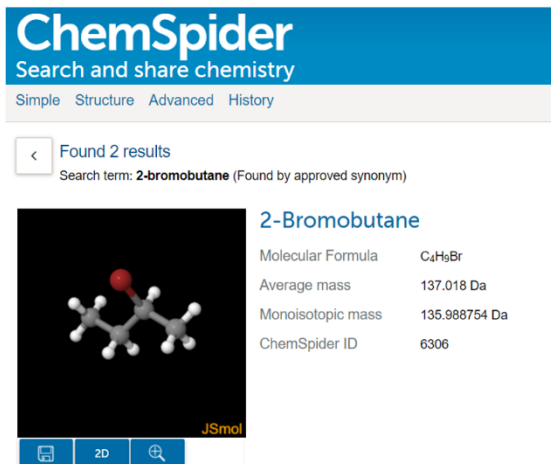
As simulações computacionais tem vantagens frente as demais apresentadas, uma vez que é uma ferramenta interativa, proporcionando um resultado imediato ao aluno no que diz respeito às representações tridimensionais ao rotacionar a molécula ou ao alterar as condições, podendo-se observar o comportamento molecular. Assim, interatividade traz grandes contribuições para a aprendizagem, além de estimular a aprendizagem e motivar o aluno a desenvolver as atividades (PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

Sites gratuitos como PubChem e ChemSpider são banco de dados de estruturas químicas e dispõem de um catálogo vasto de compostos. Ambos os sites possuem seção de visualização 3D de moléculas que podem ser utilizados para visualização dos modelos moleculares (Figura 10). Esses sites possuem facilidade de uso, em que é possível realizar a busca por nome do composto, fórmula molecular, estrutura e outros classificadores, sendo necessária apenas a conexão à internet uma vez que não precisa de instalação de programas (PUBCHEM; CHEMSPIDER).

Figura 10 – Exemplo de visualização de projeções 3D (a) PubChem (b) ChemSpider



(a)



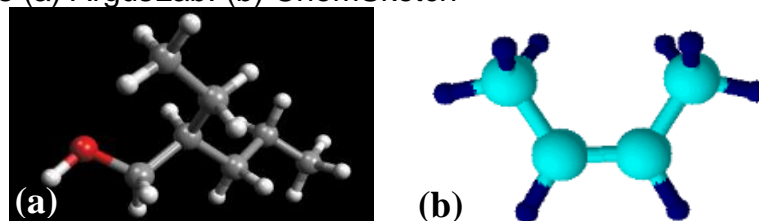
(b)

Fonte: Adaptado de PUBCHEM e CHEMSPIDER

Softwares como ChemSketch, ArgusLab e SPECTO são alguns exemplos de simulações computacionais (Figura 11). Raupp et al. (2010 apud PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014) empregaram em seu estudo o software computacional ChemSketch 10.0 (software livre) na construção de modelos moleculares para o ensino de isomeria geométrica. Em seu trabalho, Raupp et al. (2010 apud PAULETTI et al., 2014) afirmam que a o uso de modelos moleculares (softwares) melhora a percepção das representações das moléculas, os modelos representados pelos alunos mostram-se mais corretos e completos após o uso desse recurso didático, além da questão de dimensão espacial e geométrica serem consideradas (RAUPP, SERRANO, MOREIRA, 2009; PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014; ROCKENBACH et al., 2020).

Ferreira, Arroio e Rezende (2011) apontaram que o software livre ArgusLab facilita a compreensão dos mecanismos envolvidos em uma reação química. Com as representações em 3D, é possível observar a distribuição espacial dos átomos de cada molécula que está envolvida em uma reação química, característica essencial para a química. Além disso, o software permite que o aluno crie seu próprio modelo e acompanhe as interações entre as moléculas, permitindo-se também que a molécula seja manipulada e rotacionada (FERREIRA, ARROIO, REZENDE, 2011 apud PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

Figura 11 – Exemplos de projeção tridimensional utilizando softwares computacionais (a) ArgusLab. (b) ChemSketch



Fonte: TOLEDO; AMARAL, 2020; RAUPP; SERRANO; MOREIRA, 2009

Pauletti et al. (2011) afirma que o uso de softwares computacionais pode ser decisivo no ensino de química, especialmente para os conteúdos altamente abstratos. O uso de softwares se sobressai uma vez que permite a visualização do abstrato, apresenta resultados imediatos, os recursos visuais são bastante chamativos além de ser interativo (PAULETTI; ROSA; CATELLI, 2014).

Um desafio encontrado quanto o uso de softwares computacionais para representar os modelos moleculares é quanto a disponibilidade de laboratório de informática equipado com computadores para que os alunos tenham acesso a esses recursos. Apesar de ser uma das representações mais completas, os modelos por softwares necessitam de infraestrutura que nem todas as escolas possuem. Sabendo-se disso, é possível encontrar variadas formas de representação de modelos, como os modelos de baixo custo que já foram apresentados.

O uso dos modelos moleculares é capaz de integrar os três níveis de representação (macro, micro e simbólico), mostrando aos estudantes a natureza dinâmica da Química e aproximando a riqueza de representações, principalmente a visual em nível microscópico (PAULETTI, ROSA, CATELLI, 2014).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, o uso das representações 3D como os modelos moleculares pode contribuir positivamente para o ensino. Considerando que a química orgânica, especialmente o conteúdo de isomeria, necessita de habilidades visuoespaciais dos alunos a fim de diferenciar e identificar os compostos isômeros, essas ferramentas de visualização se tornaram grandes aliadas no ensino. Elas se mostram como uma

ótima estratégia, visto que auxilia na visualização 3D de moléculas, desenvolvendo habilidade e capacidade de visualização tridimensional dos alunos.

Os modelos moleculares auxiliam na exploração dos conceitos químicos e no entendimento de assuntos considerados difíceis pelos alunos. Além disso, o uso desses modelos aborda os três níveis de conhecimento químico (macro, submicro e simbólico), interação considerada essencial para o domínio e entendimento do conteúdo dentro da ciência química.

A utilização dos modelos moleculares promove uma aula mais dinâmica, interativa e que chama mais o interesse do aluno em estudar o conteúdo. Essa estratégia de ensino tenta fugir dos modelos tradicionais de ensino, de aulas totalmente expositivas de transmissão-recepção de conteúdo, que é bastante desgastante e desmotivador para o aluno.

Fica evidente que o ensino de química precisa ser renovado pela forma que ela é abordada nos dias atuais. O professor necessita estar em constante formação, estudando novas estratégias de ensino e aprendizagem e novas metodologias que possam contribuir para a aprendizagem do aluno, a fim de formar cidadãos críticos e pensantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AITKEN, R. A.; KILÉNYI, S. N. **Asymmetric Synthesis**. 1. ed. United Kingdom: Chapman & Hall, 1992.

AMERICANAS. **Kit De Conjunto Auxiliar De Ensino De Modelos De Estrutura Molecular De átomo Científico De Química Orgânica**. Disponível em: <https://www.amERICANAS.com.br/produto/2099516330?tamanho=One%20size&cor=One%20color>. Acesso em: 08 Abr. 2022

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) - Parte III - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, 1999.

BROOKS, W. H.; GUIDA, W. C.; DANIEL, K. G. **The Significance of Chirality in Drug Design and Development**. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, v. 11, n. 7, p. 760–770, 2011.

BRUICE, P. Y. **Organic Chemistry**. 5. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2007.

CHEMSPIDER. **2-Bromobutane**. Disponível em:
http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.6306.html?rid=7ac60715-f9d2-43a5-8d9d-34426e370c56&page_num=0. Acesso em: 28 Abr. 2022

COSTA, A. C. J. da. **Ensino híbrido em foco: estratégias para o ensino de funções orgânicas oxigenadas**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

ERIKSSON, T. et al. **Intravenous Formulations of the Enantiomers of Thalidomide**: Pharmacokinetic and Initial Pharmacodynamic Characterization in Man. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, v. 52, n. 7, p. 807–817, 2000.

MCMURRY, J. **Organic Chemistry**. 8. ed. Belmont: Cengage Learning, 2012.

MELO, A. D. Q. et al. **Aplicação de um Modelo Molecular de Baixo Custo nas Aulas de Química, em Escolas Estaduais do Município de Ubajara-CE**. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, v. 12, n. 3, p. 19–24, 2018.

PAULETTI, F.; ROSA, M. P. A.; CATELLI, F. **A importância da utilização de estratégias de ensino envolvendo os três níveis de representação da Química**. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 7, n. 3, p. 121–134, 2014.

PUBCHEM. **2-Bromobutane**. Disponível em:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6554#section=3D-Conformer>. Acesso em: 28 abril. 2022

PUBCHEM. **Butane, 2-bromo-, (2R)**. Disponível em:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Butane_-2-bromo-_-_2R#section=3D-Conformer. Acesso em: 21 abril 2022

PUBCHEM. **(S)-2-Bromobutane**. Disponível em:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/S_-2-Bromobutane#section=3D-Conformer. Acesso em: 21 abril. 2022

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.

ROCKENBACH, L. C. et al. **Uma revisão sistemática de literatura sobre as estratégias e temáticas para ensino de estereoisomeria**. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 11, p. 1–27, 2020.

SAKAUCHI, H. et al. **Enzymatic resolution and odor description of both enantiomers of lavandulol, a fragrance of lavender oil.** Chemistry and Biodiversity, v. 2, n. 9, p. 1183–1186, 2005.

TALANQUER, V. **Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”.** International Journal of Science Education, v. 33, n. 2, p. 179–195, 2011.

TOLEDO, M. P. de; AMARAL, C. L. C. **Uso do software ArgusLab no ensino de orgânica.** XV Simpósio dos Programas de Mestrado Profissional Unidade de Pós-graduação, Extensão e Pesquisa, v. 1, n. 1, p. 360–368, 2020.

WARTHA, E. J.; REZENDE, D. de B. **Os Níveis De Representação No Ensino De Química e as Categorias Da Semiótica De Peirce.** Investigações em Ensino de Ciências, v. 16, n. 2, p. 275–290, 2011.

WERKHOFF, P. et al. **Chirospecific analysis in essential oil, fragrance and flavor research.** Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung, v. 196, n. 4, p. 307–328, 1993.