

Artigo

Construção de um Modelo Molecular: Uma Abordagem Interdisciplinar Química-Matemática no Ensino Médio**de Farias, F. M. C.; Del-Vecchio, R. R; Caldas, F. R. R. e Gouveia-Matos, J. A. de M.****Rev. Virtual Quim.*, 2015, 7 (3), 849-863. Data de publicação na Web: 22 de setembro de 2014<http://www.uff.br/rvq>**Construction of a Molecular Model: A Mathematical-Chemical Interdisciplinary Approach in the Secondary Education**

Abstract: This paper presents the construction of molecular models from easily accessible materials as well as details of the geometrical and trigonometric theories that support it. Its aim is to allow a chemical-mathematical interdisciplinary approach to the subject, under the assumption that knowledge of the molecular geometrical shape, as well as of bi- and three-dimensional representations in chemistry, is supplied by the linguistic complements provided by the overlap between the theories of chemistry and mathematics.

Keywords: Chemistry Teaching; Interdisciplinary Approach; Molecular Models; Hybridization.

Resumo

O artigo apresenta a construção de modelos moleculares a partir de materiais facilmente acessíveis, bem como detalha as fundamentações geométricas e trigonométricas que a possibilitam. Visa a permitir uma abordagem interdisciplinar química-matemática do tema, partindo do pressuposto que o domínio da espacialidade molecular, bem como das representações bi e tridimensionais em Química, passa pelos complementos linguísticos fornecidos tanto pelas teorias da Química quanto pelas da Matemática.

Palavras-chave: Ensino de Química; Interdisciplinaridade; Modelos Moleculares; Híbridação.

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, Centro de Tecnologia, Bl A, Cidade Universitária Ilha do Fundão, CEP 21491-972, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

✉ gouveia@iq.ufrj.br

DOI: [10.5935/1984-6835.20150043](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20150043)

Construção de um Modelo Molecular: Uma Abordagem Interdisciplinar Química-Matemática no Ensino Médio

Florence M. C. de Farias,^a Renata R. Del-Vecchio,^b Fernanda Regina R. Caldas,^c João Augusto M. Gouveia-Matos^d *

^a Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, Campus do Valonguinho, CEP 24020-150, Niterói-RJ, Brasil.

^b Universidade Federal Fluminense, Instituto de Matemática, Campus do Valonguinho, CEP 24020-150, Niterói-RJ, Brasil.

^c Universidade Federal do Rio de Janeiro, Secretaria Acadêmica, Instituto de Química, Centro de Tecnologia, Bloco A, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, CEP 21941-972 Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

Universidade Federal do Rio de Janeiro Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, Centro de Tecnologia, Bl A, Cid. Universitária Ilha do Fundão, CEP 21491-972, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

* gouveia@iq.ufrj.br

Recebido em 20 de setembro de 2014. Aceito para publicação em 20 de setembro de 2014

1. A Importância da Visualização para o Ensino de Química
2. Construção do Modelo Molecular
 - 2.1. Material
 - 2.2. Procedimento para a Construção do Modelo Molecular
3. Fundamentação Geométrica
 - 3.1. Cálculo das Alturas Teóricas
4. Aplicação
5. Considerações Finais

1. A Importância da Visualização para o Ensino de Química

O entendimento de Química exige muito da percepção visual (visualização) na medida em que as explicações fornecidas para os fenômenos macro (observados no “mundo

real”) são construídas por propostas que envolvem interações entre moléculas, átomos e partículas subatômicas. Para lidar com a ideia dessas entidades foram construídos vários tipos de representações como os modelos atômicos, estruturas moleculares, equações químicas e símbolos, representações essas que funcionam como alicerces para desenvolvimento da Química.¹

Essas representações trazem em si uma série de significados que permitem tanto a visualização dos processos químicos quanto o compartilhamento desses pelo uso de uma linguagem própria.

Ressalta-se, entretanto, que os fenômenos do “mundo real” são amplos e complexos e quando a ciência busca explicá-los ela o faz baseada em ideias selecionadas em função do objetivo que se deseja alcançar. Segundo Gilbert, os cientistas, de fato, investigam “fenômenos exemplares” tomando por base sua área específica de pesquisa.² Ou seja, esses “fenômenos exemplares” são simplificações construídas com a finalidade de visualização dos fenômenos que ocorrem em nível macro e sua descrição é o que se designa modelo. Assim, independentemente da polissemia do termo, nesse enfoque modelo pode ser definido como atribuição de explicações aos fenômenos do mundo.

Chamizo propõe a existência de dois tipos de modelos: mental e material (ou expresso).³ Modelos mentais são representações elaboradas idiossincriticamente para explicar ou prever uma situação e no qual não há acesso pelo outro, enquanto modelos materiais são aqueles que temos acesso empírico e são elaborados para permitir a comunicação entre as pessoas. Os modelos materiais são a colocação em domínio público dos modelos mentais.

No que concerne ao ensino/aprendizagem de ciências o que se busca é que os alunos construam modelos mentais e os expressem de modo o mais próximo possível dos modelos científicos (modelos materiais consensuais na comunidade científica) e para isso usa-se um ou mais modos de representá-los:²

1. Concreto, como, por exemplo, os “modelos moleculares do tipo bola e bastão”.

2. Verbal, que consiste na descrição das entidades, e de suas relações, usadas nos modelos. Um exemplo é a explicação do que significam a bola e o bastão no modelo supracitado.

3. Simbólico, como, por exemplo, as fórmulas e os símbolos químicos.

4. Visual, que faz uso de diagramas, gráficos e animações. Um exemplo clássico são as representações bidimensionais de estruturas químicas. As representações pseudotridimensionais elaboradas em programas de computadores (modelos virtuais) também pertencem a essa categoria.

5. Gestuais, onde se faz uso de movimentos do corpo (ou parte dele). Um exemplo é o uso dos dedos da mão para apresentar o modelo “chave-fechadura” para explicar as interações entre as moléculas biologicamente ativas e seus receptores orgânicos.

No caso da química, os modos de representação concreto, visual e simbólico são os mais utilizados. Em cada um desses modos de representação existem vários submodos e a utilização conjunta desses modos e submodos é o que Balaban designa de “linguagem espacial”.⁴ A capacidade de entender e interpretar essa “linguagem espacial” é fundamental para a Química na medida em que o entendimento das explicações dadas aos seus fenômenos exige que se correlacione os fenômenos em nível macro (observações experimentais nos laboratórios e no dia a dia, como, por exemplo, a visualização da mudança de cor em uma reação química), com as representações em nível submicroscópico (por exemplo, as relações de íons, átomos e moléculas na reação e que são expressas normalmente pelos modos concreto, visual ou verbal) e simbólico (representação dos íons, átomos e moléculas na equação da reação).

Um dos grandes problemas para o aprendizado de química reside na dificuldade, por parte dos estudantes, em transitar nesses níveis de representação, o que é a base no desenvolvimento da ciência Química. Ressalta-se, no entanto, que vários estudos demonstram que existe uma correlação entre a habilidade visuoespacial (capacidade de realizar transformações entre representações 2D e 3D) pessoal e a

capacitação de resolução de problemas da disciplina de química em geral, independente de esses problemas exigirem ou não uma visualização direta.^{1,5, e 6}

Assim, a aprendizagem de Química requer habilidades visuoespaciais que dão suporte para a realização de determinadas operações cognitivas espaciais. É pelo uso dessas operações que nos tornamos aptos a construir modelos mentais das estruturas moleculares, manipulá-los e expressá-los.⁷ Nesse aspecto, os alunos apresentam grandes dificuldades tanto na correlação das representações estruturais moleculares bidimensionais com as representações pseudotridimensionais, quanto em sua manipulação, o que é fundamental, por exemplo, para o reconhecimento de isômeros espaciais.

Considerando essas dificuldades, o uso de modelos moleculares como ferramentas de aprendizado é promissor. Há evidências de que alguns tipos de representações, especialmente quando animadas e dinâmicas, podem melhorar a visualização tridimensional dos estudantes,⁸ enquanto outros estudos mostram que a construção de conceitos está estreitamente relacionada à habilidade visuoespacial que os alunos adquirem no decorrer de seu aprendizado.⁹

¹¹Dori e Barak investigaram em alunos de nove escolas do Ensino Médio o domínio do conceito de modelo em Química; a capacidade de fornecer explicações textuais, gráficas, ou a combinação de ambas; a capacidade de efetuar transformações bidirecionais entre representações unidimensionais (fórmulas moleculares), representações bidimensionais (fórmula estrutural plana) e tridimensionais (fórmula estrutural espacial) e o entendimento, definição e implementação dos conceitos de isomerismo e grupos funcionais. Constataram que alunos que em suas aulas manipularam modelos moleculares físicos (*kits*) e virtuais (computador) apresentaram um maior desenvolvimento no processo ensino-aprendizagem nesses campos do que aqueles outros (grupo controle) que apenas

tiveram contato com modelos através de aulas demonstrativas de seus professores.¹²

O advento dos computadores levou a um aumento significativo do uso de modelos virtuais e modelagem na área do ensino. Relatos mostram que o uso dessas ferramentas levou, por parte dos estudantes, a um aumento da capacidade de compreensão da natureza tridimensional das estruturas moleculares e da correlação destas com os fenômenos macro.^{11,13,14}

Em relação ao uso de modelos bidimensionais, virtuais e tridimensionais como instrumento para o ensino da estrutura molecular dos compostos orgânicos, estudos demonstram que abordagens utilizando uma mistura dos três tipos são muito eficazes.^{10,15,16}

Avaliações comparativas entre o uso de modelos estáticos *versus* animados mostram resultados controversos. Alguns autores relatam que o uso de modelos dinâmicos pode causar confusão e formação de erros conceituais, enquanto outros encontraram resultados promissores principalmente quando associados a plataformas que se valem da metodologia de ensino por questionamento.¹⁷

Savec, Vrtacnik e Gilbert realizaram uma pesquisa com alunos do Ensino Médio em que, pelo uso de “testes de visualização molecular” (MVTs), avaliaram a capacidade dos alunos em resolver problemas que envolvem manipulações de representações de estruturas moleculares. Compararam o resultado entre alunos que realizaram os MVTs sem auxílio de modelos (manipulação apenas mental) com alunos que o realizaram com o auxílio de modelos. Os modelos utilizados foram ou concretos, tridimensionais, ou virtuais ou ainda o uso simultâneo dos dois. Esse trabalho levou às seguintes conclusões: i) O uso de modelos tridimensionais estáticos, em comparação com as representações bidimensionais, é um facilitador para o entendimento das fórmulas estereoquímicas (posição espacial dos átomos nas moléculas). Para esse

entendimento é fundamental o conhecimento do significado da simbologia utilizada (por exemplo, linha pontilhada significa “para trás do plano do papel”); ii) O uso de modelos facilita a manipulação mental das representações moleculares; iii) Os modelos virtuais e os concretos têm a mesma eficiência no que concerne ao aprendizado, mas os estudantes preferem os concretos por serem mais “palpáveis”; os autores recomendam o uso inicial dos modelos concretos para, em etapa posterior, introduzir-se os modelos virtuais; iv) É importante que os alunos conheçam as operações básicas (conceito de rotação e reflexão) para que possam realizar manipulações mentais das estruturas moleculares.¹⁵

Considerando a importância da visualização para o ensino da Química e as evidências de que o uso de modelos é um facilitador para a aprendizagem das estruturas tridimensionais moleculares tem levado a várias pesquisas sobre esses temas. Teruya e colaboradores realizaram um levantamento do número de artigos publicados sobre “Visualização no Ensino de Química” na década de 2001-2010 e mostraram que o mesmo tem despertado interesse cada vez maior de pesquisadores em ensino de ciências.¹⁸

No Brasil, a necessidade de utilização de modelos moleculares é exatamente uma das razões alegadas para a falta de uma abordagem estrutural espacial adequada nos currículos de Química Orgânica do Ensino Médio. Isto se deve à inexistência de kits com custos compatíveis com a realidade socioeconômica das escolas, ou que, no entender do aluno, ou de seus responsáveis, compense a relação custo-benefício envolvida na aquisição dos modelos moleculares oferecidos no mercado.

O surgimento de modelos moleculares virtuais (alguns inclusive de livre acesso) e a utilização e ampliação de microcomputadores na vida escolar vieram oferecer, a princípio, uma forma de contornar o problema.

Cabem, porém, duas considerações a respeito: i) que o número de computadores disponíveis nas escolas ainda é muito pequeno face às necessidades; ii) quando existentes, não há por parte das instâncias de mediação didática no Ensino Médio uma cultura escolar em Química de utilização metodológica, constante e rotineira dos mesmos.

Buscando interferir nessa realidade pelo incentivo ao uso de uma abordagem estrutural espacial na disciplina de Química, neste trabalho descrevemos a construção de um modelo molecular físico, tipo vareta-esfera, feito a partir de material de fácil acesso, seguido da fundamentação geométrica que o explica e possibilita. Além da questão da maior acessibilidade do modelo proposto, há também a vantagem em termos de ensino-aprendizagem de tratar-se de um modelo concreto que, conforme Savek e colaboradores, é um facilitador para o uso de modelos virtuais.¹⁵ Ressalta-se que a construção desse modelo permite, além do seu uso como instrumento didático, uma abordagem interdisciplinar na medida em que sua construção envolve conteúdos de geometria e trigonometria que fazem parte do programa disciplinar de Matemática para o Ensino Médio.

Além disso, apresenta vantagens em termos de exatidão, custo e acessibilidade por não necessitar, na construção, de transferidores para a determinação dos ângulos das ligações, problema crítico principalmente em hibridizações sp^3 .

2. Construção do Modelo Molecular

Para a elaboração dos arranjos geométricos dos átomos com hibridização sp^3 , sp^2 e sp são utilizadas tampas de desodorante tipo *spray*, de alturas variáveis em função da hibridização a ser construída e furadas no centro da base. Nessas tampas colocam-se esferas de isopor previamente

pintadas com a cor escolhida em função do átomo (ver apêndice) e nestas esferas são espetados palitos (Fig. 1 a 3) analogamente ao que se faz na construção de objetos geométricos inscritos em esferas e que observam as mesmas relações matemáticas

encontradas em átomos hibridados (ver Fundamentação Geométrica). A partir daí os procedimentos de manipulação na construção são correspondentes às operações de simetria, basicamente C_3 e C_4 .

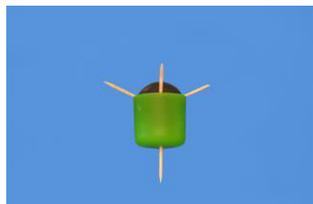


Figura 1. Esfera com palitos em uma tampa de desodorante de 40 mm de altura, furada no centro da base (sp^3)

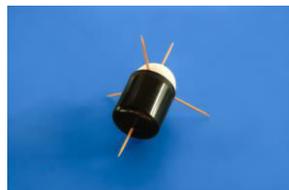


Figura 2. Esfera com palitos em uma tampa de desodorante de 45 mm de altura, furada no centro da base (sp^2)



Figura 3. Esfera com palitos em uma tampa de desodorante de 32 mm de altura, furada no centro da base (sp)

2.1. Material

- Tampas de 40 mm de altura de desodorante tipo *spray* furada no centro da base (sp^3)
- Tampas de 45 mm de altura de desodorante tipo *spray* furada no centro da base (sp^2)
- Tampas de 40 mm de altura de desodorante tipo *spray* cortada a 8 mm da borda e furada no centro da base; ou, 1 tampa de 45 mm de altura de desodorante tipo *spray* cortada a 13 mm da borda e furada no centro da base (sp)
- Bolas de isopor no. 4 (\approx 40 mm de diâmetro, átomos 2º período da tabela periódica), no. 2,5 (\approx 25 mm de diâmetro, átomo de hidrogênio), e no. 5 (\approx 50 mm de diâmetro, átomos 3º período da tabela periódica)

- Tinta têmpera guache nas cores preto, vermelho, azul, verde, etc. (ver Apêndice)
 - Hastes de cotonetes cortadas em 60 ou 55 mm (ver Apêndice: Tabelas de Ligações)
 - 1 caixa de palitos dentais
 - Fio de cobre rígido monofásico de 2, 3, ou 4 mm encapado em azul claro (cor optativa)
 - 1 alicate
 - Régua escolar de 20 ou 30 cm
 - Pincéis
 - Caneta de retroprojektor escrita fina ou assemelhado
 - Estilete
- Broca de 3/32 polegadas, ou prego aquecido ao rubro de diâmetro idêntico aos palitos dentais.



Figura 4. Material empregado na construção dos modelos

2.2. Procedimento para a Construção do Modelo Molecular

O modo de construção é padrão para qualquer tipo de hibridização, variando apenas a seleção da tampa do desodorante tipo *spray*: a de 40 mm de altura para hibridização sp^3 , 45 mm para a sp^2 , e a tampa cortada para a sp . Selecionado o tipo de hibridização, e conforme ilustrado na Fig. 5 usando como exemplo a construção do $C\ sp^3$, o procedimento consiste em:

1. De acordo com a hibridização colocar a esfera de isopor, já colorida e seca (ver tabela de cores no Apêndice), na tampa apropriada furada (utilizar broca ou o prego) no centro da base;

2. Introduzir, pelo furo, perpendicularmente a esta base, um palito na esfera (o sucesso do método depende que esta introdução seja a mais perpendicular possível) (Fig. 5 A);

3. Retirar da tampa o conjunto esfera e palito(s) espetado(s);

4. Recolocar a esfera com o(s) palito(s) espetado(s), mas agora apoiando este(s) sobre a borda da tampa (Fig. 5 B, 5 C, e 5 F);

5. Repetir as seqüências 2 a 4 sucessivamente até que o número total de palitos esteja introduzido em acordo com o

tipo de hibridização para cada caso: 4 para sp^3 , 5 para $sp^2 + p$, e 6 para o $sp + 2$ orbitais p ;

6. Substituir cada palito correspondente às ligações sigma pelas hastes de cotonetes cortadas, introduzindo-as até as marcações (ver Tabela de Ligações no Apêndice). Simultaneamente, unir as esferas conforme as estruturas desejadas (lembrar que cada dois palitos de esferas diferentes serão substituídos na ligação por uma única haste de cotonete);

7. Para a construção de ligações π , substituir os palitos correspondentes aos orbitais p pelo fio de cobre encapado de azul, dobrado paralelamente 2 vezes a 90° em cada extremidade (no caso de usar a Tabela de Ligações, o comprimento irá depender do tipo de ligação se $C=O$, $C=C$ ou $C\equiv C$, mas em qualquer caso, somar 120 mm ao valor da tabela, e dobrar a 40 mm de cada extremidade).

Ressalta-se que, no caso exemplificado de um Csp^3 (Figura 5), as operações 3 e 4 correspondem ao análogo de uma operação de simetria C_3 segundo o eixo OB do objeto geométrico da Figura 10.

As figuras 6-9 mostram exemplos de modelos de algumas moléculas simples construídos segundo o procedimento relatado.

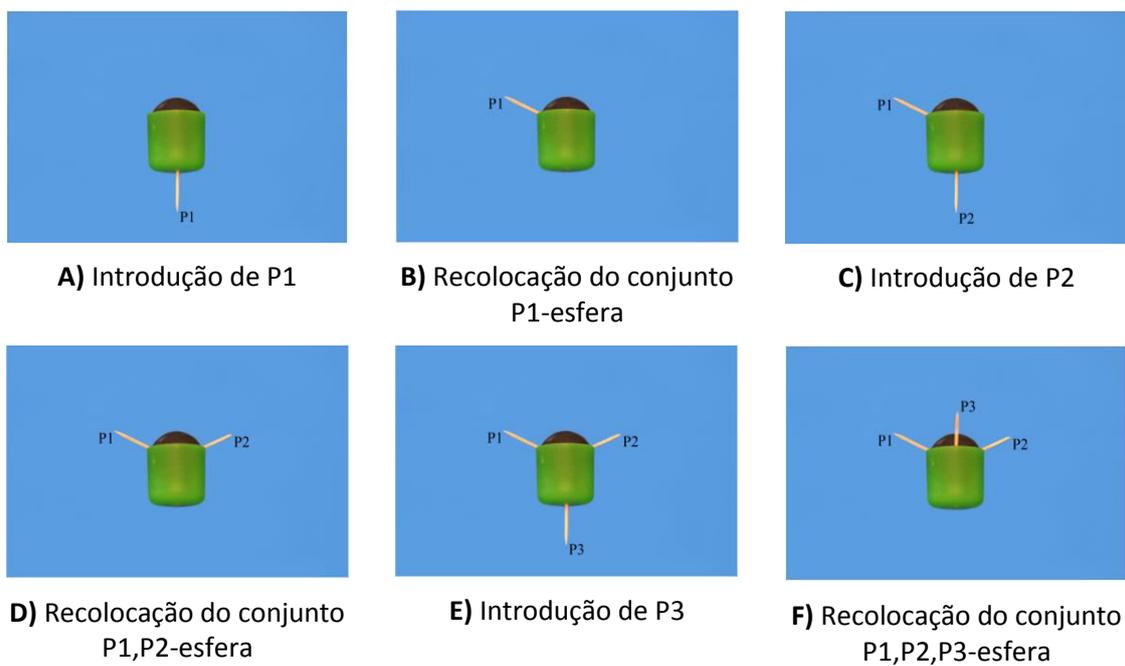


Figura 5. Exemplo, modelo de um Csp^3 , da montagem padrão (após 5F, introduzir o último palito)

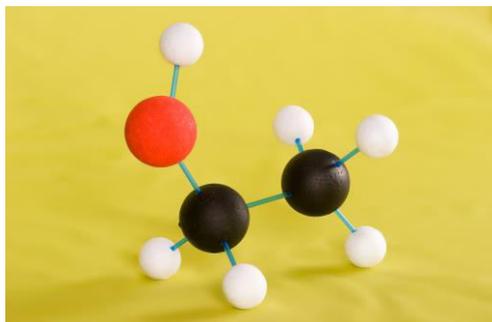


Figura 6. Modelo vareta-esfera de uma molécula de etanol

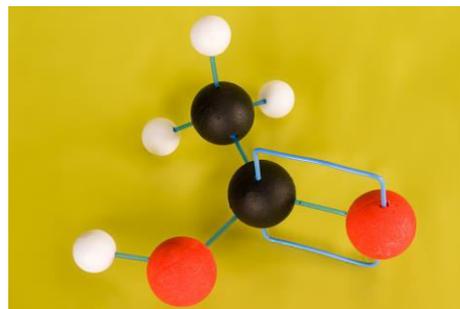


Figura 7. Modelo vareta-esfera de uma molécula de ácido acético

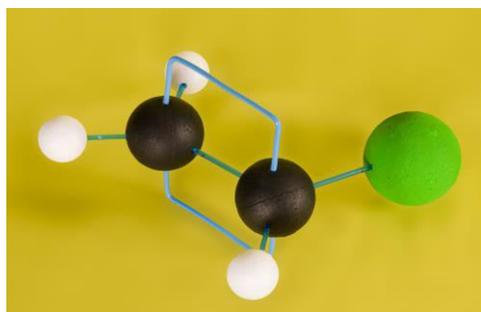


Figura 8. Modelo vareta-esfera de uma molécula de cloreto de vinila

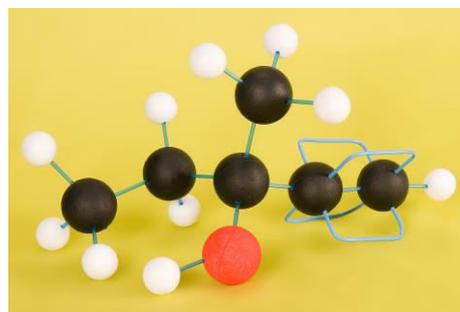


Figura 9. Modelo vareta-esfera de uma molécula de 3-metilpentin-3-ol

3. Fundamentação Geométrica

Objetivando a abordagem interdisciplinar química-matemática do tema, relatamos a seguir a demonstração dos fundamentos geométricos.

As Figuras 10A, 11A e 12A representam os sólidos geométricos análogos, respectivamente, às geometrias das hibridações sp^3 , sp^2 e sp representados nas Figuras 1, 2 e 3. Em todos os casos tratam-se de esferas de centro O e raio r dentro de cilindros de alturas variáveis. Os pontos A , B , C , e D na superfície da esfera representada na Figura 10^a correspondem aos vértices de um tetraedro, os pontos A' , B' , e C' na Figura 11 A correspondem aos vértices de um triângulo equilátero, enquanto os pontos K , K' , L , L' , M , e M' na Figura 12 A

correspondem aos pontos de interseção da esfera com um eixo de coordenadas x , y e z . As linhas tracejadas que unem estes pontos aos centros das esferas correspondem, no primeiro caso, aos eixos dos orbitais híbridos sp^3 , no segundo, aos dos orbitais sp^2 e p , no terceiro, aos orbitais sp e p . Por serem simétricos, operações de simetria apropriadas mantêm as relações geométricas e trigonométricas internas.

Sólidos geométricos podem ser gerados por rotações de figuras planas segundo eixos adequados. Assim, os sólidos 10A, 11A, e 12A podem ser obtidos a partir de circunferências de centro O e raio r (Fig. 10B, 11B, e 12B) por rotações, respectivamente, das circunferências e dos segmentos PQ , $P'Q'$, e KN em torno de eixos que passam pelos respectivos segmentos AO , AO' e OM .

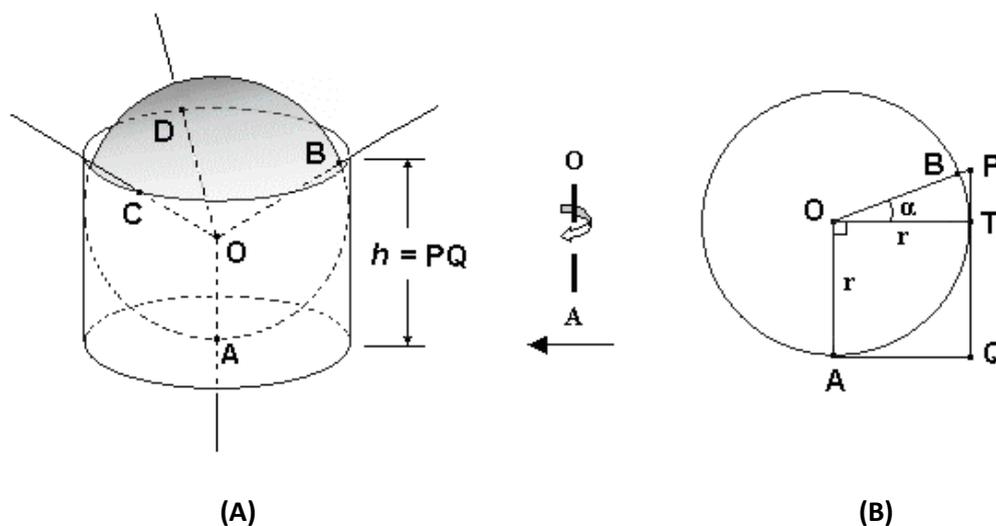


Figura 10. (A) Sólido geométrico do qual a figura 1 é análoga. (B) Figura geométrica planar que por rotação em torno de um eixo que passa por OA fornece (A)

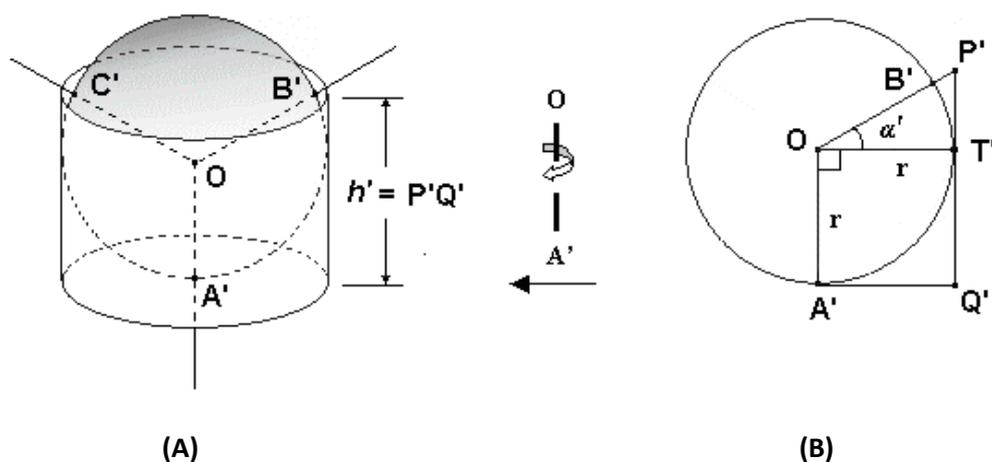


Figura 11. (A) Sólido geométrico do qual a figura 2 é análoga. (B) Figura geométrica planar que por rotação em torno de um eixo que passa por OA' fornece (A)

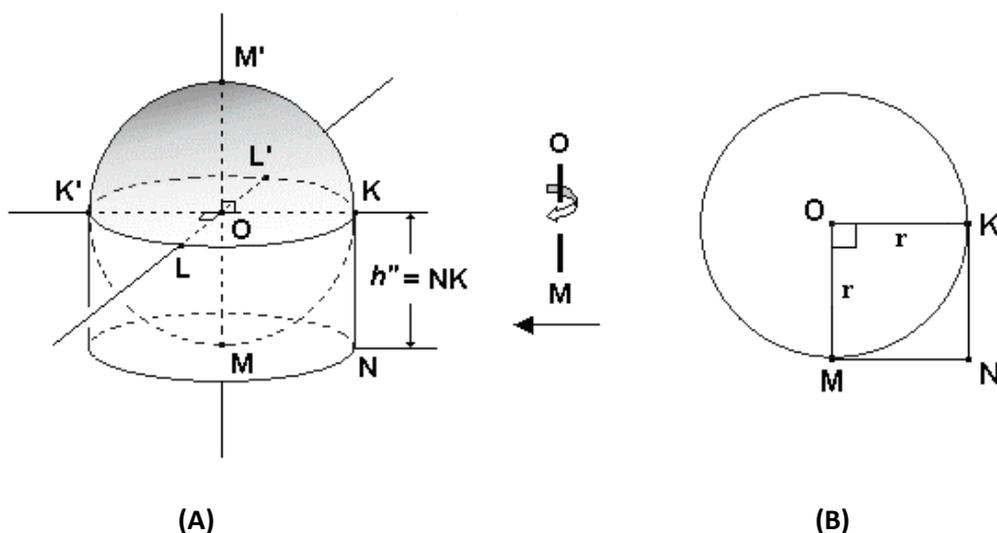


Figura 12. (A) Sólido geométrico do qual a figura 3 é análoga. (B) Figura geométrica planar que por rotação em torno de um eixo que passa por OM fornece (A)

Nos três casos, os raios r representados nas figuras planares são perpendiculares entre si. Além disso, no primeiro caso (Fig. 10B) o ângulo AOB é de $109^{\circ} 28'$ (aproximadamente $109^{\circ} 30'$ ou $109,5^{\circ}$ como consta em livros-texto de química para o Ensino Médio), AQ um segmento da reta tangente em A e P o ponto obtido pela interseção da extensão do raio OB com a reta tangente à circunferência em T . No segundo (Fig. 11B), o ângulo $A'OB'$ é de 120° , tendo as demais entidades geométricas o mesmo significado que as correspondentes da figura

anterior. Finalmente, no último caso (Fig. 12B), MN é um segmento da reta tangente em M , e KN um segmento da reta tangente em K .

As alturas teóricas (h , h' , e h'') que na analogia das esferas de isopor em tampas de desodorantes correspondem às alturas efetivas, isto é, distância borda inferior da esfera-borda superior da tampa, podem então ser obtidas a partir das figuras planares acima, conforme mostrado a seguir.

3.1. Cálculo das alturas teóricas

Cálculo de h'' (a partir da Figura 12(B)).

Por ser **OMNK** um polígono planar de 4 lados, um quadrilátero, a soma dos ângulos internos – **OMN**, **MNK**, **NKO** e **KOM** – é igual a 360° . Mas, o ângulo **OMN** = ângulo **NKO** = 90° (por construção toda tangente é perpendicular ao raio no ponto de tangência), mesmo valor do ângulo **KOM** (também por construção), conseqüentemente, o ângulo **MNK** também será um ângulo reto. Segue-se que **OMNK** é um quadrilátero com 2 lados adjacentes iguais (raios **OM** e **OK**) e 4 ângulos retos, ou seja, um quadrado. Portanto, **NK** = **r**

Para esferas de raio igual a 20 mm, a altura teórica (h''), neste caso, será também de 20 mm.

- Cálculo de h' (a partir da Figura 11(B)):

$$\mathbf{P'Q'} = \mathbf{T'Q'} + \mathbf{P'T'} \text{ (por construção)}$$

$$\mathbf{T'Q'} = \mathbf{r} \text{ (ver acima)}$$

$$\mathbf{P'T'} = \mathbf{rtg\alpha'} \text{ (por definição de tangente)}$$

$$\text{mas } \alpha' = 120^\circ - 90^\circ,$$

$$\text{donde, } \mathbf{P'Q'} = \mathbf{r + rtg 30^\circ}$$

$$\text{como } \mathbf{tg 30^\circ} = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3}.$$

$$\text{Segue-se que } \mathbf{P'Q'} = \mathbf{r + r \frac{\sqrt{3}}{3}}$$

(aproximadamente, $r (1 + 0,57735\dots)$)

Donde a altura calculada (h') será de 31,6 mm para esferas com raio de 20 mm.

- Cálculo de h (a partir da Figura 10(B)):

$$\mathbf{PQ} = \mathbf{TQ} + \mathbf{PT}$$

E por procedimento idêntico ao caso anterior:

$$\mathbf{PQ} = \mathbf{r + rtg\alpha}$$

Porém, pelos lemas 1 e 2 (ver Apêndice),

$$\mathbf{tan \alpha} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

$$\text{Segue-se que } \mathbf{PQ} = \mathbf{r + r \frac{\sqrt{2}}{4}}$$

(aproximadamente, $r (1 + 0,35355\dots)$)

O que fornece uma altura teórica (h) de 27,1 mm, no caso de esferas com raio de 20 mm.

No Brasil, diversos desodorantes tipo *spray* são padronizados em dois formatos facilmente distinguíveis pelas alturas das tampas: uma de 40 mm, geralmente em cores fantasia (Fig. 1), e outra, de 45 mm normalmente em cores sóbrias (Fig. 2). No caso das tampas típicas aqui utilizadas, elas apresentam um diâmetro interno de 40 mm, possuem em seu interior um pequeno cilindro com rosca interna, e as distâncias das bordas das tampas até este cilindro medem, respectivamente, 25 mm para a tampa de 40 mm, e 30 mm para a de 45 mm. Todavia, o efeito de concavidade da bola de isopor ao apoiar-se sobre o cilindro interno – estimado graficamente como de 2 a 3 mm – situa, de fato, a distância borda inferior da esfera–borda da tampa entre 27 e 28 mm no primeiro caso, e entre 32 e 33 mm, no segundo caso. Os valores teóricos calculados são de **PQ** = 27,1 mm, e **P'Q'** = 31,6 mm, e com isto as diferenças entre os valores calculados e medidos situam-se nas faixas de 0,4 % - 3,3% para a tampa de 40 mm, e de 1,2 % - 4,4 % para a de 45 mm.

Quando se utiliza uma tampa de 40 mm cortada a 8 mm da borda (Fig. 3), teremos que **KN** = **r** = 20 mm. Como a medida proposta para o corte já considera o efeito

de concavidade da esfera de isopor, conseqüentemente, a indeterminação entre valores calculados e os medidos da distância da borda inferior da esfera–borda da tampa irá depender apenas da indeterminação do efeito de concavidade, ou seja, de 1 mm, isto é, de 5 %.

Obviamente, tais valores irão variar um pouco de acordo com as fabricações da esfera de isopor e da tampa, devido, por exemplo, à esfericidade homogênea ou não, reprodutibilidade, etc.

4. Aplicação

A idealização e construção desse modelo surgiu a partir das colocações de licenciandos em Química cursando uma disciplina de instrumentação de ensino (IQW 100 – Instrumentação com Química no Cotidiano. IQ/UFRJ) ao se depararem com o tema isomeria nas atividades de Prática de Ensino. Esses licenciandos relataram que a utilização dos modelos foi um grande facilitador de suas atividades e “que os alunos gostaram muito”. Recentemente o uso deste modelo passou a ser incorporado por um dos professores como parte integrante das discussões referentes ao tema na disciplina associada à Prática de Ensino (EDD 622 Didática da Química II. IQ/UFRJ).

Colocações mais críticas, porém, foram desenvolvidas por professores do Ensino Médio e do Ensino Fundamental (5^a. a 8^a. série) participantes de um curso de atualização na UFRJ denominado “Química das Coisas” realizado em 2011, e no qual participaram 64 professores de diversas escolas. Um dos temas abordados nesse curso foi o de Modelos Moleculares, em que como atividade experimental eles deveriam construir o modelo em 3D de uma molécula orgânica cujo modelo pau-vareta em 2D lhes era fornecido em cartelas. Ao fim do curso os participantes produziram documentos escritos, e não assinados, de avaliação do curso. Para tal, os professores foram

distribuídos em grupos espontâneos de 3 a 4 membros, e foi fornecido um elenco de sugestões de itens de interesse dos organizadores em investigar, e a serem discutidos caso o grupo achasse relevante (exemplos: organização do evento, relevância dos temas, utilização em suas atividades profissionais – sala de aula, etc.). No que tange à utilização deste modelo em sala de aula os professores apontaram que:

1. O modelo “era uma proposta válida (“boa”, “muito boa”, “facilitadora”, “útil”) pois permitia “o aluno enxergar (“ver”, “sentir”, “ver e sentir”, “perceber”) as moléculas”;

2. Sob esse aspecto consideraram que o modelo “era melhor (“mais adequado”, “mais útil”) que os outros” (“kits” comerciais que lhe foram apresentados nas discussões introdutórias)

Por outro lado, apontaram também que:

3. Com exceção de um grupo, os demais achavam “difícil” (“problemático”) a utilização em sala de aula, apontando: ou, o tema não constar do programa (provavelmente professores do Ensino Fundamental); ou, a integração com professores de matemática “é muito complicada” (“difícil”, “problemática”); e/ou as instruções por escrito são “muito difíceis para os alunos” e demandam tempo, o que “não é possível com o tamanho do programa” e o “pouco (“pequeno”) número de horas”.

4. “Mas quando a escola tiver” os modelos “podem (“devem”) ser mostrados (“construídos”) em atividades extraclasse (“feiras de ciências”).

A análise das colocações dos professores reveladas nessa diagnose exploratória revela que, dentro de suas concepções sobre a Química (por exemplo, a visão substancialista expressa pelo uso de termos como “ver” e “sentir” moléculas), conseqüentemente sobre o Ensino de Química, consideram o modelo adequado e melhor que os comerciais. Além disso, a indicação da

utilização em feiras de ciências como forma de contornar os problemas encontrados (de natureza estrutural do sistema escolar vigente) reforça as potencialidades didático-pedagógicas que os professores detectaram neste modelo.

5. Considerações Finais

O reconhecimento de que os alunos com melhores desempenhos em testes de visualização espacial apresentavam também os melhores rendimentos em exames e provas de Química, não só em questões envolvendo manipulações mentais tridimensionais de moléculas representadas bidimensionalmente, como também nas que exigiam habilidades em, por exemplo, completar reagentes e/ou produtos de uma reação, ou sugerir sínteses envolvendo várias etapas, tem levado a um grande desenvolvimento de pesquisa sobre o tema visualização com várias propostas de uso de modelos de representação moleculares.¹⁸

Por outro lado, tanto para a construção de uma representação, quanto para o entendimento de uma representação dada, há a necessidade da presença prévia, em pelo menos alguma extensão mínima, do objeto representado, ou informações sobre, na estrutura cognitiva do observador, e que poderiam ser denominados de complementos linguísticos.^{20,21} Ou seja, para o entendimento de uma representação molecular em uma tela, o aprendiz deve previamente possuir os elementos de decodificação da imagem e, para isso, os modelos tipo vareta-esfera podem ser de grande valia já que constituem grande parte das representações apresentadas em modelos virtuais.

Finalizando, convém ressaltar que as utilizações de modelos, sejam físicos, ou virtuais, não deveriam atuar no ensino-aprendizado de Química apenas como visualização do que se denomina no Ensino Médio de “isomeria geométrica”, mas sim para o desenvolvimento cognitivo associado

à espacialidade. E neste sentido, modelos esfera-vareta, virtuais ou físicos, ainda ocupam um lugar importante.

Referências Bibliográficas

- ¹ Wu, H. K.; Shah, P. Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education* **2004**, *88*, 465. [CrossRef]
- ² Gilbert, J. K. Visualization: A Metacognitive skill in science and science education. *Visualization in Science Education*. Netherlands: Springer, 2007. [CrossRef]
- ³ Chamizo, J. A. A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & Education* **2013**, *22*, 1613. [CrossRef]
- ⁴ Balaban, A. T. Visual chemistry: Three dimensional perception of chemical structures. *Journal of Science Education and Technology* **1999**, *8*, 251. [CrossRef]
- ⁵ Pribyl, J. R.; Bodner, G. M. Spatial ability and its role in organic chemistry: A study of four organic courses. *Journal of Research in Science Teaching* **1987**, *24*, 229. [CrossRef]
- ⁶ Carter, C. S.; Larussa, M. A.; Bodner, G. M. A study of measures of spatial ability as predictors of access in different levels of general chemistry. *Journal of Research in Science Teaching* **1987**, *24*, 645. [CrossRef]
- ⁷ 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* **2009**, *4*, 65. [Link]
- ⁸ Tuckey, H.; Selvaratnam, M.; Bradley, J. Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation and reflection. *Journal of Chemical Education*, **1991**, *68*, 460. [CrossRef]
- ⁹ Clark, J. M.; Paivio, O. Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review* **1991**, *3*, 149. [CrossRef]
- ¹⁰ Wu, H.; Krajcik, J. S.; Soloway, E. Promoting understanding of chemical representations: Students' use of visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching* **2001**, *38*, 821. [CrossRef]

¹¹ Da Silva, J. G.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, 2007. [Link]

¹² Dori, Y. J.; Barak, M. Virtual and physical molecular modeling: Fostering model perception and spacial understanding. Disponível em: <http://www.ifets.info/journals/4_1/dori.html>. Acesso em: 20 setembro 2014.

¹³ Hyde, R. T.; Shaw, P. N.; Jackson, D. E.; Wooks, K. Integration of molecular modelling algorithms with tutorial instructions. *Journal of Chemical Education* **1995**, *72*, 699. [CrossRef]

¹⁴ Ardac, D., Akaygun, S. Effectiveness of multimedia-based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. *Journal of Research in Science Teaching* **2004**, *40*, 317. [CrossRef]

¹⁵ Savek, V. F.; Vrtacnik, M.; Gilbert, J. K. Evaluating the educational value of molecular structure representations. *Visualization in Science Education*. Netherlands: Springer, 2007. [CrossRef]

¹⁶ Abraham, M.; Varghese, V.; Tang, H. Using molecular representations to aid student understanding of stereochemical concepts. *Journal of Chemical Education* **2010**, *87*, 1425. [CrossRef]

¹⁷ Chang, H-Y; Linn, M. C. Scaffolding learning from molecular visualizations. *Journal of Research in Science Teaching* **2013**, *50*, 858. [CrossRef]

¹⁸ Teruya, L. C.; Marson, G. A.; Ferreira, C. R.; Arroio, A. Visualização no ensino de química: Apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. *Química Nova* **2013**, *36*, 561. [CrossRef]

¹⁹ Sítio da Math.com. Disponível em: <<http://www.math.com/students/calculators/source/tangent.htm>>. Acesso em: 5 fevereiro 2014.

²⁰ Bryant, D. J. A spatial representation system in humans. *Psychology* **1992**, *3*, 1. [Link]

²¹ Bacelar, J. Linguagem da visão. Disponível em: <http://www.bocc.ubi.pt/pag/bacelar_lingua_gem.pdf>. Acesso em: 4 maio 2012. [Link]

Apêndice

Lema 1: Em um tetraedro regular a distância d entre os lados e um ponto interior equidistante aos vértices é igual a $1/3$ da distância entre os vértices e este ponto interior (r).

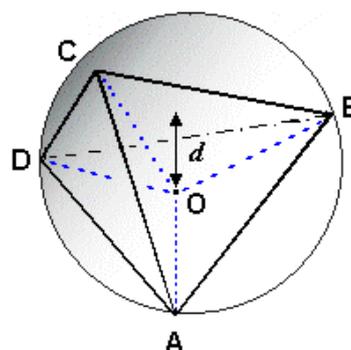


Figura 13. Tetraedro regular inscrito em uma esfera de raio r e centro O

Demonstração:

Seja o tetraedro regular **ABCD** inscrito em uma esfera de centro **O** e raio r (Fig. 13). Neste caso ele pode ser dividido em 4 tetraedros irregulares iguais entre si - **ABCO**, **ACDO**, **ABDO**, e **CBDO** - onde o volume V de cada um é igual a $1/4$ do volume de **ABCD** (V_{ABCD}).

$$\text{Consequentemente, } V_{ABCD} = 4 \cdot V_{CBDO} \quad (1)$$

Como o volume de um tetraedro é igual $1/3 \cdot S \cdot h$ (onde S é a área da base, e h a altura), segue-se,

$$V_{ABCD} = 1/3 \cdot S \cdot (r + d) \quad (2)$$

onde d é a distância de **O** à base, e S a superfície da mesma, e

$$V_{CBDO} = 1/3 \cdot S \cdot d \quad (3)$$

substituindo-se (2) e (3) em (1): $1/3 \cdot S \cdot (r + d) = 4 (1/3 \cdot S \cdot d)$

cuja solução fornece:

$$d = r/3$$

Lema 2: $\tan \alpha = \frac{\sqrt{2}}{4}$ onde α é o ângulo POT

da Figura 10 (B)

Demonstração:

Pela Figura 10(B), $\sin \alpha = d / r$, onde d é a distância do ponto **B** ao segmento de reta **OT**. Mas, pelo lema 1 esta distância é igual a $1/3$ de r . Segue-se que $\sin \alpha = 1/3$ (4)

$$\text{Como, } \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha = 1 \quad (5)$$

$$\text{Substituindo (4) em (5), } \cos \alpha = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

Como $\tan \alpha = \sin \alpha / \cos \alpha$, portanto $\tan \alpha =$

$$\frac{\sqrt{2}}{4}$$

Tabela de Cores dos átomos (Baseada em Brumlik, Framework Molecular Model, Prentice Hall)

Átomos	Cores
Carbono	Preto
Hidrogênio	Branco
Oxigênio	Vermelho
Nitrogênio	Azul
Fluor	Verde Claro
Cloro	Verde escuro
Bromo	Laranja
Iodo	Marrom
Enxofre	Amarelo
Fósforo	Violeta

TABELA DE LIGAÇÕES (LIDE, D.R. (ed.) *Handbook of Chemistry and Physics*. 80th 1999, Ed. Boca Raton, CRC Press Ltd.

Ligações	Comprimento das ligações (Å)	Comprimento das ligações nos modelos (mm)	Marcações a partir das extremidades dos cotonetes cortados* (mm)	
C-C	1,54	30	15	15
C-C=	1,51	29	16	15
C-C≡	1,46	28	16	16
C=C	1,34	26	17	17
C≡C	1,20	23	18	19
C-C (Arom.)	1,40	27	15	18
C-O (ROR,H)	1,42	28	16	16
C-O (-COOH)	1,36	26	17	17
C=O	1,21	24	18	18
C-N	1,47	29	15	16
C≡N	1,16	23	17	20
C-F	1,35	26	17	17
C-Cl	1,77	34	13	13
C-Br	1,94	38	11	11
C-H*	1,09	21	19	15
=C-H*	1,09	21	19	15
≡C-H*	1,06	21	19	15
O-H*	0,96	19	18	18
N-H*	1,01	20	18	17