

O Uso do Origami Arquitetônico como Recurso Pedagógico para a Compreensão da Geometria Espacial das Moléculas

The Use of Architectural Origami as a Pedagogical Resource for Understanding the Spatial Geometry of Molecules

Daniel de Lima Pontes,^a Nilton Cláudio Maia,^b Ana Cristina Facundo de Brito Pontes^{a,*}

^aUniversidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química, CEP 59078-900, Caixa-Postal 1524, Natal-RN, Brasil

^bUniversidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto de Química-PROFQUI, CEP 59078-900, Caixa-Postal 1524, Natal-RN, Brasil

*E-mail: ana.cristina.pontes@ufrn.br

Recebido: 04 de Agosto de 2023

Aceito: 18 de Março de 2024

Publicado online: 22 de Março de 2024

The high level of abstraction has been identified as one of the factors that hinder the understanding of Chemistry, since according to the literature, it is related to the understanding of three aspects: the observation of natural phenomena (macroscopic universe), their representation in scientific language (symbolic universe) and the real understanding of the universe of particles such as atoms, ions and molecules (submicroscopic universe). These difficulties are more evident when it comes to teaching chemical bonds. Therefore, this work proposes the use of clipboards using architectural origami for teaching chemical bonds through a workshop in classes of the 3rd year of high school in a state public school in the municipality of Morada Nova - CE. The workshop was structured in 05 meetings in which pre- and post-evaluation questionnaires were carried out, clipboards with 3D and 2D structures were worked on. Through the analysis of the questionnaires, it was possible to observe that it was possible to develop spatial skills in most students, such as mentally rotating molecules in space, transposing the representation of a 2D molecule to 3D, in addition to perceiving some relationships between the properties and its molecular geometry.

Keywords: Education; 3D objects; geometry.

1. Introdução

O elevado nível de abstração tem sido apontado como um dos fatores que dificultam a compreensão da Química.¹ Segundo Johnstone² o aprendizado da Química está relacionado a compreensão de três aspectos: a observação dos fenômenos naturais (universo macroscópico), a representação destes em linguagem científica (universo simbólico) e o real entendimento do universo das partículas como átomos, íons e moléculas (universo submicroscópico), ele ficou conhecido como modelo triangular. Ainda, segundo o autor, a compreensão e interligação entre estas três aspectos está relacionado a compreensão e ao domínio do conhecimento químico e a não integração entre estes três níveis está relacionado a dificuldade de aprendizagem. Outros autores também reforçam esta idéia.³⁻⁷ Conforme Gilbert⁸, não é uma tarefa fácil para os estudantes compreenderem toda a extensão de um fenômeno químico, pois é necessário um esforço intelectual para dominarem bem esses três níveis do conhecimento químico e como eles se relacionam.

A fim de auxiliar na compreensão, a utilização de instrumentos de mediação como modelos concretos e virtuais, bem como representações simbólicas e pictóricas tem se tornado uma necessidade. Atividades que incorporam o uso de modelagem molecular, ferramentas, virtuais e concretas, é uma estratégia utilizada para melhorar a competência representacional dos estudantes e ensinar conceitos, dos quais a visualização tridimensional (3D) é necessária.⁹ A representação 3D também pode favorecer a compreensão de estruturas moleculares, favorecendo o estudante a transição do nível simbólico ao submicroscópico.¹

Segundo a literatura, materiais voltados ao desenvolvimento de modelos e materiais didáticos concretos e virtuais, são muito importantes para conteúdos com elevado nível de abstração, como o domínio espacial resultado da formação das ligações químicas entre átomos e moléculas.^{1,9-12} Moreira *et al.*¹³ ressaltam que a criação e utilização de materiais educativos, é comum na educação científica. Segundo Lima¹⁴, entende-se por material didático, qualquer utensílio que possa auxiliar no processo de ensino e aprendizagem. Eles são recursos utilizados para efetivar a comunicação entre professores e estudantes em torno do assunto estudado a fim de atingir as metas que foram determinadas.¹³ Desse modo, materiais que favoreçam uma melhor visualização

sobre conteúdos que exigem habilidades espaciais, podem oferecer mudanças na lógica a partir do qual o estudante organiza suas teorias¹⁵.

Estudos apontam que essas habilidades podem ser encorajadas, desenvolvidas e melhoradas através de intervenções com atividades específicas que envolvem, por exemplo, esboçar modelos moleculares em perspectivas diferentes, localizar um plano de simetria, ao mesmo tempo em um modelo 3D e em um esboço 2D de uma mesma molécula ou utilizar um modelo concreto para fazer desenhos com representação de traço/cunha.¹⁶⁻¹⁸ Segundo Chittleborough e Treagust¹⁹, os modelos físicos desempenham um papel fundamental para que os estudantes estabeleçam relações entre os níveis de representação macroscópico e submicroscópico.

Uma forma de trabalhar com modelos 2D e 3D de baixo custo que faz uso de dobras e formação de figuras e objetos tridimensionais, é chamado de origami. Nele os praticantes estão desenvolvendo o raciocínio, trabalhando a matemática intuitiva, definições geométricas e conceitos matemáticos no geral.²⁰ Segundo a literatura existem três tipos de origami²¹: o tradicional, o kirigami e o origami arquitetônico. No origami tradicional, também chamado de dobradura, as figuras são formadas a partir das dobras de um papel quadrado, sem cortes ou colagem, enquanto no kirigami, admitem-se cortes de tesouras para vazar o papel dobrado, dando forma às figuras. O origami arquitetônico ou pop up, é uma técnica artística de papel que se utiliza de cortes e dobras estrategicamente determinadas para que as figuras pareçam saltar do papel. O origami arquitetônico moderno, criado por Masahiro Chatani, é classificado em quatro modalidades, de acordo com o ângulo de abertura do cartão: 0°, 90°, 180° e 360°.²²

A pesquisa-ação educacional é uma estratégia para o desenvolvimento de professores e pesquisadores de modo que eles possam utilizar suas pesquisas para aprimorar seu ensino e, em decorrência, o aprendizado de seus estudantes. É importante que se reconheça a pesquisa-ação como um dos inúmeros tipos de investigação-ação, que é um termo genérico para qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a seu respeito. Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para a melhora de sua prática, aprendendo mais, no decorrer do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação. A realização da fase exploratória, diagnóstica, deve subsidiar os pesquisadores e participantes na elaboração dos principais objetivos que correspondam aos problemas considerados prioritários, observados no processo de investigação, e que nortearão a pesquisa. Técnicas como coleta de grupos, questionários, entrevistas que são instrumentos reconhecidos como pertencentes a pesquisa convencional, porém apropriados pela pesquisa-ação não no sentido de se levantar dados ou relatórios para serem arquivados, mas para elucidar a realidade, gerando conhecimento sobre ela, subsidiando as possíveis

interpretações a respeito do ambiente pesquisado^{23,24}. À medida que o docente se torna pesquisador de sua própria prática agir de forma crítica, nas diversas etapas da pesquisa, desde a identificação do problema até a análise dos dados coletados²⁵

Assim, o trabalho tem como objetivo relatar os resultados de uma oficina com o tema de ligações químicas através da utilização do origami arquitetônico, estimulando a transposição de formas 2D a 3D, fazendo uso de material de baixo custo.

2. Procedimentos Metodológicos

Este estudo integra uma dissertação de mestrado Profissional em Química em Rede (PROFQUI), tem aporte orientado pela pesquisa-ação qualitativa proposta por Thiollent²⁶ com a proposição do ensino do conteúdo de geometria molecular, utilizando dobraduras de origami. Por ser uma pesquisa que tem como princípio a participação, o trabalho é permeado pelo diálogo e a colaboração entre o pesquisador e os estudantes envolvidos na pesquisa, as quais podem contribuir com suas experiências e conhecimento. De acordo com Thiollent²⁶ o campo de atuação da pesquisa-ação tem sido marcado por uma diversificação e ampliação.

Esta pesquisa possui ainda, uma abordagem qualitativa, de natureza interventiva, na qual se busca identificar as dificuldades e percepções dos estudantes sobre ligações químicas. De acordo com Minayo *et al.*²⁷, esse método possibilita uma análise mais detalhada, e favorece uma verificação mais profunda da evolução da aprendizagem do estudante ao fazer a triangulação de dados. Estes podem ser levantados por diferentes instrumentos, segundo Flick²⁸, os números e porcentagens apresentados nos resultados dessa pesquisa têm propósito apenas qualitativo e informativo. Portanto, o mais interessante nesse método é a maneira como o pesquisador conduz a pesquisa, para que seus dados sejam coerentes e os resultados sejam os mais fidedignos possíveis.²⁹ Alguns elementos são comuns na abordagem qualitativa proposta por Minayo *et al.*²⁷ e presentes neste trabalho, como o foco na experiência humana e a relação que existe entre o pesquisador e os sujeitos da atividade.

2.1. Aplicação da oficina utilizando o origami arquitetônico

A aplicação da oficina que fez uso de um produto educacional elaborado no Mestrado Profissional em Rede em Química (PROFQUI) ocorreu em 05 encontros, conforme apresentado na Tabela 1. As oficinas foram realizadas em março/abril de 2018, com estudantes da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública estadual no município de Morada Nova – CE. Após a atividade diagnóstica foi realizada uma aula de revisão sobre o conteúdo de geometria.

A atividade diagnóstica foi baseada, principalmente, em fórmulas moleculares e estruturais, polaridade e

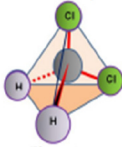
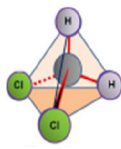










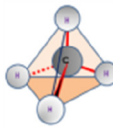
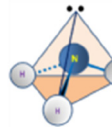
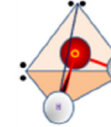
Tabela 1. Planejamento das atividades didáticas aplicadas

Encontro	Aulas	Atividades
1º	1	Atividade diagnóstica sobre Geometria Molecular
	2	Revisão e discussão do conteúdo de Geometria Molecular
2º	3	Aplicação de P1
	4	Aplicação de P2
3º	5	Aplicação de P3
	6	Aplicação de P4
4º	7	Aplicação de P5
	8	Aplicação de P6
5º	9	Atividade de verificação de aprendizagem

eletronegatividade. Foram elaboradas 8 questões (Quadro 1) que contemplavam: (a) a identificação das representação da

formação das ligações químicas covalentes, usando aspectos do modelo de Dalton; (b) representação de fórmulas

Quadro 1. Atividade diagnóstica

<p>1. As duas figuras abaixo podem ser utilizadas para representar o dicloro metano(CH_2Cl_2). Em sua opinião, existe diferença entre as figuras 1 e 2</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 2</p> </div> </div> <p>Marque com (X): Sim () Não ()</p> <p>2. A figura abaixo corresponde à estrutura de Lewis para o tetraclorometano (CCl_4)</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Tomando como referência apenas essa representação, você pode afirmar que os ângulos das ligações C-Cl-Cl são:</p> <p>A) todos de 90° B) 90° e 180° C) todos de 180° D) diferentes de 90° e 180°</p> <p>3. Em sua opinião, a geometria das moléculas podem influenciar na temperatura de ebulição (TE) das substâncias? () Sim () Não</p> <p>4. A polaridade de uma molécula depende: () somente da eletronegatividade dos átomos () da eletronegatividade e de sua geometria</p> <p>5. Associe corretamente as imagens das moléculas ao tipo de geometria:</p> <p>(I) CO_2  () Tetraédrica</p> <p>(II) BF_3  () Bipiramidal trigonal</p> <p>(III) CH_4  () Octaédrica</p> <p>(IV) SCl_6  () Trigonal plana</p> <p>(V) PCl_5  () Linear</p>	<p>6. Para cada representação das moléculas, coloque um X para classificar em polar ou apolar</p> <p>A) SOF_4  () polar () apolar</p> <p>B) CO_2  () polar () apolar</p> <p>C) BF_3  () polar () apolar</p> <p>D) PF_2Cl_3  () polar () apolar</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold;">Escala decrescente de eletronegatividade:</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold;">F > O > N > Cl > Br > I > S > C > P > H</p> </div> <p>7. Você conhece, ou ouviu falar da Teoria dos Pares de Elétrons da Camada de Valência (RPECV)? Sim () Não () Em caso afirmativo, você seria capaz de comentar com suas palavras como essa teoria contribui para prever a geometria de uma molécula.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>8. As moléculas do metano (CH_4), da amônia (NH_3) e da água (H_2O) possuem quatro pares de elétrons em volta do átomo central. Observe as representações e marque a alternativa que apresenta suas respectivas geométricas:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>CH_4</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>NH_3</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>H_2O</p> </div> </div> <p>A) tetraédrica, piramidal e angular B) tetraédrica, angula e piramidal C) piramidal, tetraédrica e angular D) angular, piramidal e tetraédrica</p> <p>9. Você concorda que a teoria da hibridização de orbitais atômicos contribui para explicar a geometria molecular () Sim () Não () Não sei</p>
--	---

estruturais, a partir da fórmula molecular, bem como, a indicação de todos os símbolos constituintes, incluindo casos de isomeria; (c) correlacionar a representação espacial das moléculas com sua geometria; (d) relacionar algumas propriedades físicas das substâncias com o tipo de ligação; (e) identificar da polaridade da molécula e sua relação com a eletronegatividade. Optou-se por um número reduzido de questões para que os estudantes não se sentissem desmotivados ou cansados coma extensão da atividade.

Em um segundo momento, deu-se a aula de revisão com utilização do Power point com o objetivo de revisar os conteúdos de ligação, focando na geometria das moléculas.

No segundo encontro com a turma, foram trabalhadas as pranchetas P1 e P2, sendo destinada uma hora/aula para cada. A sala foi organizada em seis grupos de estudantes, que trabalharam em equipe de cinco ou de seis componentes, sob a orientação e intervenção do professor-pesquisador. Após a discussão sobre o tema em estudo com auxílio das pranchetas, eles foram instruídos a desenvolverem as atividades propostas nesse material relacionadas aos arranjos tetraédricos e às geometrias tetraédricas, pirâmide trigonal e angular.

Cada grupo, além de receber um exemplar das pranchetas P1 e P2, recebeu também um transferidor, um marcador de ângulo e uma régua, confeccionados em papel, uma cópia da tabela periódica, e uma sequência de elementos ordenados em ordem decrescente de eletronegatividade. O roteiro seguiu a sequência proposta para as pranchetas: visualização; experimentação, como por exemplo, determinar de forma prática o ângulo tetraédrico, polaridade e a geometria molecular; leitura de textos explicativos; resolução dos exercícios e desafios.

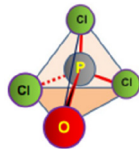
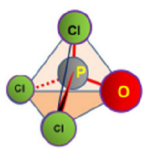





No terceiro e quartos encontros, equivalendo a quatro aulas no total, em cada uma delas trabalhou-se um tipo de prancheta, correspondendo a P3, P4, P5 e P6, respectivamente, seguindo a mesma sequência de atividades apresentadas nas pranchetas. Os ângulos nas estruturas dessas pranchetas foram determinados teoricamente, sendo apenas confirmados com o auxílio do transferidor. Foi ressaltado que nas formas bipirâmide trigonal de P3 e P4, as ligações entre o átomo central e os que ocupam as posições axiais, são mais longas que as ligações dos átomos nas posições equatoriais. Esse alongamento não ocorre em moléculas octaédricas de P5 e P6 e a explicação para esse fato pode ser dada a partir do estudo dos ângulos da geometria espacial da molécula.

Ao final de cada aula, solicitou-se às equipes que montassem em casa as estruturas moleculares de origami da capa final das pranchetas. A fim de avaliar o nível de dificuldade dessa atividade, eles deveriam filmar cada etapa desse processo e disponibilizar no grupo de WhatsApp da sala para que sua construção fosse socializada com todos os estudantes. Para o cumprimento dessa tarefa foram fornecidas cópias das bases das moléculas a cada grupo.

A identificação da aprendizagem após a utilização do material didático, considerou-se a capacidade de retenção

das informações repassadas e discutidas (com o auxílio do material) em sala de aula e a capacidade de memorização. Essa atividade foi aplicada sem aviso prévio, considerando os mesmos temas abordado na atividade diagnóstico. Por isso optou-se por modificar a maioria das questões, entretanto mantendo-se certa semelhança com as questões e objetivos iniciais.

Quadro 2. Questionário para investigação da aprendizagem após uso das pranchetas

Avaliação de Aprendizagem - Geometria Molecular	
<p>1. As duas figuras abaixo estão representando o oxiclreto de fósforo (POCl_3). É um líquido incolor que reage violentamente com água formando ácido fosfórico e ácido clorídrico. Ele tem muitas aplicações, sendo utilizado desde a fabricação de retardadores de chama até intermediários para a produção de fármacos. Teste seu conhecimento e responda: existe diferença entre as figuras 1 e 2?</p>	
 <p>Figura 1</p>	 <p>Figura 2</p>
<p>Marque com (X): Sim () Não ()</p>	
<p>2. A figura abaixo é a estrutura de Lewis para o tetrafluoro de silício (SiF_4).</p>	
	
<p>Utilizando apenas essa representação, quais são os valores dos ângulos nas ligações FSiF que você pode perceber?</p> <p>A) 90° e 180° B) todos de 90° C) todos de 180° D) 90° e 120°</p>	
<p>3. A temperatura de ebulição (TE) em molécula de mesma massa molar depende de sua geometria e polaridade. Moléculas polares tem maior TE do que as apolares. O Cl é mais eletronegativo que o C, e o H é menos eletronegativo que o C. Descubra a polaridade das moléculas nas figuras e marque o composto que tem maior ponto de ebulição (PE): () trans-dicloroeteno ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$) () cis-dicloroeteno ($\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$)</p>	
<p>6. Para cada representação das moléculas, coloque um X para classificar em polar ou apolar</p>	
A) SOF_4	 () polar () apolar
B) CO_2	 () polar () apolar
C) BF_3	 () polar () apolar
D) PF_2Cl_3	 () polar () apolar
<p>Escala decrescente de eletronegatividade: $\text{F} > \text{O} > \text{N} > \text{Cl} > \text{Br} > \text{I} > \text{S} > \text{C} > \text{P} > \text{H}$</p>	

Foi realizada uma nova atividade de longo prazo aplicada duas semanas depois, a todos os estudantes, buscavam-se saber se os conteúdos trabalhados ainda estavam em sua

memória. Esta atividade contou com a participação de 35 estudantes. A atividade foi dividida em duas partes: a primeira abordava aspectos teóricos, e a segunda parte era experimental, para construir duas estruturas moleculares, e a partir delas responder as questões, fazer comparações e registro semiótico (desenho representativo) de uma das estruturas 3D. O questionário encontra-se no material complementar.

2.2. O desenvolvimento das pranchetas de origami arquitetônico

Os materiais utilizados para a construção das pranchetas foram papel A4, papel cartonado A4 e filme para plastificação das pranchetas, pensando na durabilidade do manuseio. O material produzido é caracterizado como um origami arquitetônico moderno, com a elaboração de pranchetas com abertura de 180° , ou seja, quando são abertas em ângulos de 180° as moléculas surgem em 3D, e ao fechá-las a figura se ajusta até que esteja completamente plana (Figura 1). Dessa forma, quando o estudante recebe a prancheta, pode visualizar as estruturas sendo formadas diante de seus olhos.²²

Esse material foi pensado e projetado para conter, além das estruturas feitas com encaixe de papel, textos explicativos, conceitos teóricos de hibridização de orbitais atômicos, informações sobre eletronegatividade, questões que envolvem propriedades das moléculas, como polaridade, relacionada à geometria molecular. Ainda são apresentados desafios, que podem ser resolvidos de forma prática, como por exemplo: determinação de ângulos, fazendo uso do transferidor; comprimento das ligações, utilizando régua e cálculos matemáticos; e construção de estruturas moleculares 3D.

Foram desenvolvidas seis pranchetas diferentes, nas quais os modelos que representam as formas geométricas estão distribuídos em cada uma delas da seguinte forma: Prancheta 1 (P1) – Um tetraedro e um arranjo tetraédrico de pares de elétrons; Prancheta 2 (P2) – Um modelo tetraédrico, um piramidal trigonal e um angular; Prancheta 3 (P3) – Um arranjo bipiramidal e um modelo bipiramidal; Prancheta 4 (P4) – Um modelo gangorra, um em T e um linear; Prancheta 5 (P5) – Um arranjo octaédrico; Prancheta 6 (P6) – Um modelo Piramidal quadrada e um quadrática plana.

As pranchetas P1, P2, P4 e P5, estão na escala 300 milhões para 1. Por questão de espaço, P6 está na escala de 240 milhões para 1, e na P3, o desenho foi reduzido fora de proporção. A fim de trabalhar em uma escala real, foi preparada uma impressão da mesma estrutura em folha A4 na escala de 300 milhões para 1, para ser utilizada pelos estudantes.

Os origamis também permitem realizar uma previsão dos ângulos e ao comprimento de ligações com auxílio de instrumentos (transferidor e régua) e pelo raciocínio matemático. A Figura 2 traz exemplo de uma atividade prática da previsão aproximada de ângulos na estrutura 3D da amônia, construída em papel.

As moléculas para serem montadas pelos estudantes a partir das cópias das bases nas pranchetas P1, P2, P3, P4, P5 e P6 são respectivamente: tetrafluor metano (CF_4) de geometria tetraédrica; tricloreto de fósforo (PCl_3) de geometria pirâmide trigonal; pentacloreto de fósforo (PF_5) de geometria bipiramidal trigonal; tetrafluoreto de enxofre (SF_4) de geometria gangorra; hexafluoreto de enxofre (SF_6) de geometria octaédrica e pentafluoreto de bromo (BrF_5) de geometria quadrado planar.

Os desenhos da capa final foram adaptados a partir dos modelos propostos por Hanson em seu livro *Molecular origami*, que apresenta as bases de origami para construir modelos de variadas moléculas em escala de precisão.³⁰ Na escala de 300000000 para 1, cada 3 cm no desenho corresponde a 1 Å. Para converter a pm basta seguir a relação: $1\text{pm} = 0,01 \text{Å}$. Nas estruturas de propostas, todas as bases contêm os ângulos entre o elemento central e os periféricos, os comprimentos das ligações e as distâncias entre os átomos periféricos.

As formas geométricas das pranchetas P1 e P2, os pares de elétrons estão em arranjos espaciais tetraédricos; nas pranchetas P3 e P4 os arranjos são bipiramidais trigonais e nas pranchetas P5 e P6 os arranjos são octaédricos, cujas respectivas hibridizações são sp^3 (P1 e P2), sp^3d (P3 e P4) e sp^3d^2 (P5 e P6).

Nas pranchetas, a hibridização é determinada a partir da forma geométrica prevista pela RPECV. Como o total de orbitais híbridos formados é igual ao número de orbitais atômicos que lhe dão origem, surgirão quatro orbitais híbridos do tipo sp^3 da combinação de um orbital s com três orbitais p (mantendo características dos orbitais originais: 25% de caráter “s” e 75% de caráter “p”). As

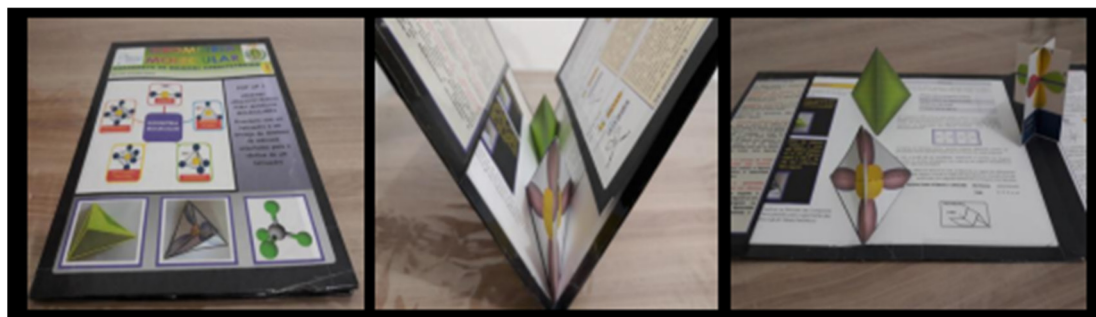


Figura 1. Prancheta de 180° , fechada, em processo de abertura e aberta

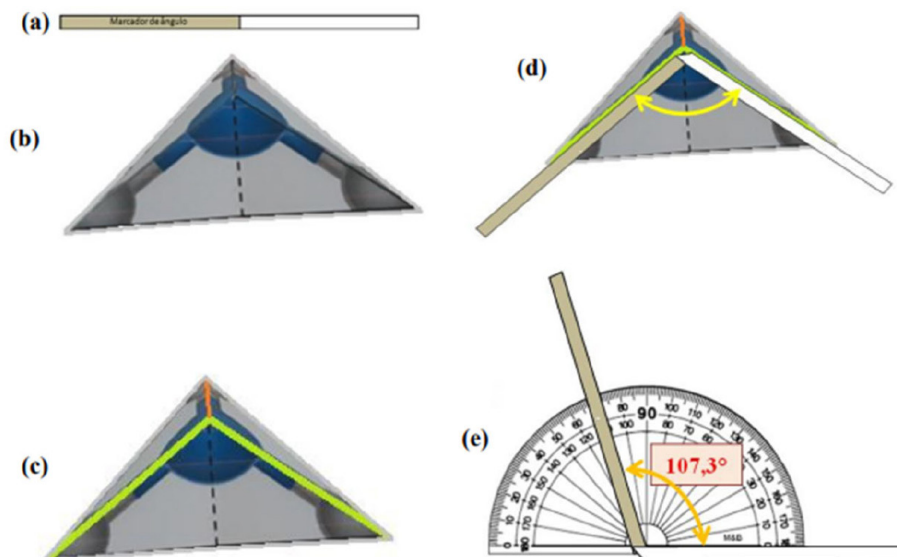


Figura 2. Aferição aproximada dos ângulos na estrutura 3D da amônia com materiais confeccionados em papel: (a) marcador de ângulo, (b) estrutura da amônia em 3D, (c) identificação dos ângulos a serem medidos, (d) marcador de ângulo, dobrado sobre o ângulo H-N-H, (e) marcador com a abertura do ângulo sobre o transferidor

pranchetas dispõem de textos explicativos sobre esse assunto que, somados à visualização dos modelos 3D possibilita ao estudante determinar a hibridização pela geometria molecular. Além dessas formas 3D citadas, foi adicionado na aba direita de P1, uma representação 3D dos três orbitais p (p_x , p_y e p_z); na aba direita de P2, surgem em 3D as formas geométricas da molécula da água (angular) e da amônia (pirâmide trigonal) e na aba direita da P3, aparecem em 3D, as representações geométricas dos cinco orbitais d (dx_y , dx_z , dxy , $dx^2 - y^2$ e dz^2).

3. Resultados e Discussão

Com o intuito de divulgar e motivar a aprendizagem e interesse sobre ligações Químicas-geometria moleculares foi aplicada uma sequência didática utilizando origami arquitetônico. Participaram 60 estudantes da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública estadual no município de Morada Nova – CE, atendendo estudantes da sede e da zona rural. Estes dependem de transporte escolar para se locomover à escola, sendo este fato, um dos fatores da frequência irregular por parte dos estudantes nas aulas.

3.1. Resultados da atividade diagnóstica

A aplicação desta atividade serviu como norteador para elaboração da oficina, uma vez que já estudaram esse conteúdo em anos anteriores. Segundo Penny *et al.*³¹, conceitos que necessitam utilizar relações espaciais são os que mais limitam a compreensão e aprendizagem do estudante.³² A Tabela 2 apresenta os resultados referente a análise das respostas ao questionário sobre a atividade diagnóstica.

A questão 01 tinha por objetivo a identificação da representação na formação das ligações químicas covalentes, usando aspectos do modelo de Dalton, bem como a identificação da disposição dos átomos em 3D, levando em consideração sua geometria. Considerou-se indiferente à posição ocupada pelos dois átomos de cloro. Embora os quatro átomos periféricos não sejam iguais (dois H e dois Cl), gerando uma distorção no tetraedro, os dois pares de átomos ficam a uma mesma distância. A informação contida somente na imagem, sem um recurso visual tátil (sinestésico), não foi suficiente para a maioria dos estudantes (76%) perceberem que não havia diferença entre as moléculas representadas no desenho em 3D. Bastava rotacionar mentalmente no espaço uma das figuras, uma habilidade de visualização, para verificar a semelhança. Os que marcaram “Não”, foram classificados como aqueles que identificam semelhança de estruturas ao realizar a rotação no espaço e os que marcaram “Sim” ou “deixaram em branco” como os que não classificam.

Na questão 02, o objetivo era correlacionar uma representação espacial da molécula em 2D (comumente apresentado nos livros didáticos) com sua estrutura 3D, com identificação dos ângulos entre as ligações. Para análise, considerou-se que os estudantes que marcaram a alternativa B, como aqueles que identificam os ângulos na forma plana (embora não sejam os mesmos das formas espaciais); aqueles que assinalaram as alternativas A e C como os que identificam parcialmente; e os que marcaram a alternativa D ou deixaram em branco, como os que não identificam os ângulos visualmente no plano (embora possam ter raciocinado como se fosse uma forma espacial, entretanto não era o que se pedia na questão). Segundo a literatura^{1,33,34} é necessário o uso de um modelo concreto ou uma representação 3D, para o entendimento dos modelos

Tabela 2. Resultados referentes a atividade diagnóstica

Categoria	Classificação	Percentual de Estudantes (%)
Q1. Identificação de semelhanças de estruturas ao rotacionar no espaço	Identifica	24
	Não Identifica	76
Q2. Identificação de ângulos em estruturas planas de Lewis	Identifica	
	Identifica parcialmente	59
Q3. Admite a relação entre geometria e T.E.	Não Identifica	12
	Admite	94
Q4. Dependência da polaridade molecular	Não Admite	06
	Eletronegatividade e geometria	68
	Eletronegatividade somente	32

da Repulsão de Pares de elétrons na camada de valência (PECV) ou representações convencionais, como traço/cunha. Pelo menos até que o estudante desenvolva essas habilidades espaciais em sua mente. Percebeu-se que apenas 29% dos estudantes foram capazes de fazer esta transposição de uma molécula 2D em 3D.

O objetivo da questão 03 era identificar se o estudante consegue relacionar algumas propriedades físicas (temperatura de ebulição) das substâncias com o tipo de ligação e sua geometria. Segundo a literatura é possível prever algumas dessas propriedades a partir da estrutura espacial.³⁵ Para isso, consideram-se as forças que mantêm as moléculas unidas em um material, que determinarão suas características. Assim, essa questão está atrelada aos conteúdos de polaridade, forças intermoleculares, massa e estrutura. Embora não seja possível uma relação de regularidade direta entre geometria com a T.E, a geometria interfere na polaridade, que por sua vez, interfere nas forças intermoleculares, e assim, de forma indireta, na temperatura. Portanto, nessa questão, os estudantes foram classificados em: (i) os que admitem a relação entre geometria e T.E, aqueles que marcaram “Sim”, e (ii) os que não admitem essa relação. Nesta questão foi possível identificar que a maioria dos estudantes (94%) conseguiram de alguma forma fazer esta relação.

Já a questão 04, buscou-se identificar a polaridade da molécula e sua dependência da eletronegatividade e da geometria. É possível que uma molécula seja apolar mesmo que apresente ligações polares. A geometria da molécula pode apresentar uma simetria de forma que seu momento dipolo resultante das ligações seja nulo. Portanto, a resposta esperada como correta era: “da eletronegatividade e de sua geometria”. Assim, a classificação dos estudantes nessa questão ficou definida entre aqueles que admitem que a polaridade de uma molécula depende “somente da eletronegatividade”, correspondente a 32%, e aqueles que atribuíram a existência da polaridade resultante em uma molécula, à dependência da “eletronegatividade e de sua geometria”, um percentual de 68%.

A questão 05 teve por objetivo correlacionar a representação espacial das moléculas com sua geometria a partir de representações simbólicas e icônicas. Nela,

destaca-se a importância da leitura visual das imagens espaciais (representações 3D) das fórmulas moleculares, para associá-las ao nome de suas respectivas geometrias. Foi possível identificar que a geometria linear apresentou maior acerto, com percentual de 94%, seguido da estrutura octaédrica com maior identificação, com 79% de acerto. Esse elevado percentual pode ser atribuído a facilidade de visualização destas geometrias. Já a geometria bipiramidal trigonal foi a menos reconhecida (Figura 3), muito provavelmente pela dificuldade na sua visualização espacial. A elevada complexidade exigida na interpretação das representações e modelos químicos, além de fazer vínculo com o nível submicroscópico é uma das dificuldades relatadas na literatura.⁹ Apenas 1 estudante não respondeu a estes questionamentos.

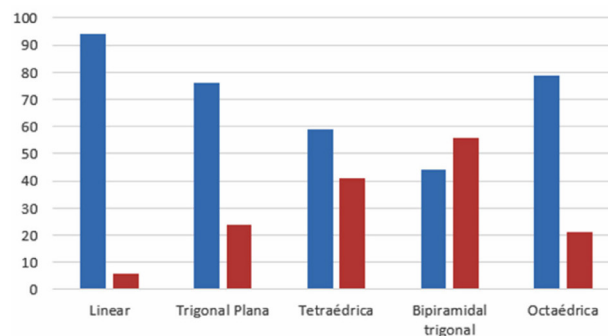


Figura 3. Identificação de formas geométricas em percentual: (azul) identifica e (vermelho) não identifica

Quando se utiliza representações icônicas, como as estruturas 3D (ou pseudo 3D) nas representações da questão 05, conforme a teoria semiótica de Peirce, o observador não necessita propriamente de um conhecimento científico elaborado ou formal para identificar algumas características de uma imagem.³⁶ A representação dos átomos como formas esféricas, de cores e tamanhos diferentes, posicionadas no espaço de modo a indicar uma forma 3D podem ajudar o estudante no reconhecimento da geometria da molécula.¹ Com relação ao total de acerto por indivíduo, observou-se que apenas 30 estudantes conseguiram identificar as cinco formas apresentadas na questão.

Já com relação a questão 06, seu objetivo era identificar a polaridade da molécula e sua relação com a eletronegatividade para poder classificá-las em polar ou apolar, a partir da geometria molecular. Para atingir esse objetivo, foi fornecida na questão uma escala em ordem decrescente de eletronegatividade contendo os elementos presentes nas moléculas e a representação espacial das fórmulas moleculares. Esperava-se que o estudante apresentasse uma percepção visual das representações para julgar em quais casos o momento dipolo (μ) poderia ser cancelado ou não. Eles deveriam perceber que a polaridade não depende apenas da diferença de eletronegatividade entre os elementos, mas, das resultantes dos momentos de dipolo da molécula, a partir da geometria.

O maior acerto (62%) foi para a molécula CO_2 , com uma geometria linear (Figura 4). Embora a geometria trigonal plana tenha se apresentado como a segunda mais identificada na questão anterior, ela foi a geometria que os estudantes menos identificaram sua polaridade. Segundo Carlisle, Tyson e Nieswandt³⁴ esse tipo de questão requer do estudante, além de uma visualização mental da forma 3D, a capacidade de rotacionar essas estruturas no espaço. Desse modo, ele pode perceber se as ligações polares se anulam, cancelando o momento de dipolo da molécula ou não. A resposta correta depende da compreensão de como os átomos estão orientados no espaço.

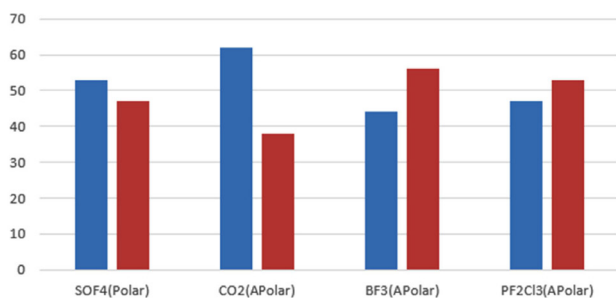


Figura 4. Resultado da Questão 6 que trata da polaridade das moléculas em percentual: (azul) classifica e (vermelho) não classifica

Já questão 07 objetivava identificar se o estudante possui algum conhecimento sobre as teorias relacionadas a explicar a formação de uma ligação, na atividade o modelo da Teoria de Repulsão dos Pares de Elétrons da Camada de Valência (RPECV). Embora a Teoria RPECV normalmente seja abordada de forma resumida no Ensino Médio das escolas públicas, dos que responderam, 62% dos estudantes indicaram que conhecem ou já ouviram falar, mas não opinaram sobre como o modelo RPECV ajuda na previsão das formas geométricas das moléculas. Ao serem questionados na aula seguinte se realmente eles ouviram falar da RPECV percebeu-se que eles haviam confundido com a camada de valência.

Na questão 08 o estudante deveria ser capaz de identificar a geometria molecular a partir de desenhos em perspectiva 3D. Assim, a maioria dos estudantes (53%) não foi capaz de identificar a geometria das moléculas e apenas

47% dos estudantes identificaram corretamente. Pode-se atribuir àqueles que erraram a questão, a ausência de uma habilidade para interpretar representações visuais que é a capacidade de reconhecer as convenções para as diferentes representações de determinada figura molecular espacial.³⁷

Na questão 09, o estudante só teria que informar se tinha conhecimento ou não de que a teoria de hibridização de orbitais explica a geometria molecular, 70% dos estudantes responderam que não sabem, 6% acham que não contribui e apenas 24% reconhecem sua contribuição.

Diante destes resultados, percebe-se que os estudantes apresentam limitações na compreensão de geometria molecular e a sua influência nas propriedades físico-química das substâncias.³⁴ Este conteúdo, embora esteja previsto para ser trabalhado na primeira série do Ensino Médio, ainda pareceu muito desafiador para esses estudantes da terceira série. Dessa forma, a atividade diagnóstica, forneceu informações importantes para o desenvolvimento da oficina, bem como na construção das pranchetas de origami arquitetônico.

3.2. Resultados da atividade de aprendizagem

A atividade de aprendizagem continha nove questões, semelhantes àquelas apresentadas na atividade diagnóstica. Nesta etapa, buscou-se identificar as contribuições das pranchetas de origami arquitetônico como material didático na visualização e identificação da geometria e modelos de moléculas em 3D. Para resolver essas questões, os estudantes tiveram em aulas anteriores, o contato com o material concreto, resolveram questões propostas nas pranchetas com diferentes formas de representações, mediram ângulos e compararam formas geométricas.

Nesta etapa tivemos a ausência de 12 estudantes que foram categorizados como aqueles que não atingiram os objetivos propostos para aquela questão, assim como os estudantes que deixaram a questão em branco. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

Na questão 01 foi alterada a molécula apresentada e solicitado que justificasse sua escolha. Esperava-se dos estudantes percebessem que as duas estruturas apresentadas na imagem como iguais. Assim, deveriam marcar “Não” como resposta, confirmando que não são diferentes. Foi possível perceber um avanço na aprendizagem, onde o número de estudantes que atingiram os objetivos dessa questão aumentou de 24% (diagnóstico) para 41% (atividade de aprendizagem) do total de estudantes. A partir das justificativas dos estudantes, pode-se destacar alguns aspectos que os levaram ao erro: a) consideraram as estruturas estáticas não conseguindo perceber a estrutura com possibilidade de rotacionar no espaço por completo; b) falta de compreensão sobre algumas propriedades das substâncias como polaridade e isomeria; c) embora reconhecessem a mudança de posição da estrutura, não perceberam tratar-se da mesma substância. Esses estudantes raciocinaram geometricamente (pensamento geométrico) na

argumentação, mas não se verificou o desenvolvimento da capacidade espacial chamada por Locatelli e Arroio (2011), de metavizualização, ou seja, habilidades para perceber uma estrutura molecular 3D sob diferentes ângulos.^{34,37} Os estudantes que acertaram, conseguiram perceber que é possível rotacionar essas estruturas no espaço e representá-las no papel, como pode ser percebido pela seguinte justificativa: “Por que as moléculas são as mesmas, mas vistas de ângulos diferentes”.

Já a questão 2 era semelhante a apresentada no teste anterior, alterando apenas a figura. O número de sujeitos que atingiram o objetivo de reconhecer e identificar os ângulos nas estruturas planas de Lewis chegou a 62%. Considerando os 29% da atividade diagnóstica, percebeu-se um aprendizado com relação a essa percepção. Pode ser atribuído, em tese, que o aumento dessa consciência plana possa em parte, resultar da comparação com as estruturas 3D, trabalhadas nas pranchetas. Foram classificados como sujeitos que “identificam parcialmente” aqueles que reconheceram somente ângulos de 90° ou somente 180°. O número destes corresponde a 35%, inferior ao do diagnóstico (59%). Os que não identificaram nenhum desses ângulos (3%) também foi inferior ao do diagnóstico (12%).

A questão 03 apresentava os isômeros *cis*-1,2-dicloroeteno e o *trans*-1,2-dicloroeteno, envolvendo as propriedades de polaridade da molécula relacionando com a temperatura de ebulição. Assim, é preciso que o estudante relacione geometria com polaridade para fazer estimativas sobre a temperatura de ebulição comparando-as. Para esse fim, o estudante precisa observar e analisar as diferentes representações espaciais dos dois compostos. Além de reconhecer que uma molécula *cis* é espacialmente diferente da *trans*, ou seja, são constituintes de substâncias diferentes, o estudante deveria perceber que uma de suas propriedades, a temperatura de ebulição (T.E), é diferente nas duas substâncias em função de suas geometrias diferentes. O resultado mostrou que 68% dos sujeitos conseguiram estabelecer essa relação. O objetivo foi diferente da atividade diagnóstica, pois a partir da visualização de estruturas com isomeria geométrica, tinham que constatar esse fato e identificar qual delas formava a substância que apresentava

maior T.E. Carlisle, Tyson e Nieswandt³⁴ afirmam que nesse tipo de questão, o estudante precisa rotacionar mentalmente a forma 3D no espaço e avaliar se ocorre um cancelamento do momento de dipolo. Além disso, deveriam interpretar a representação convencional de uma estrutura espacial do tipo *cunha/cunha tracejada/linha*, e fazer a translação (relação entre as diferentes representações) entre o modelo traço/*cunha* e o modelo 3D com os átomos representados em diferentes cores e tamanhos.³⁸ Os modelos utilizados nas pranchetas podem ter contribuído positivamente nos resultados, uma vez que estudos apontam que a manipulação de modelos ajuda a entender informações com visões espaciais.³⁴

A questão 04 tinha por objetivo identificar se o estudante era capaz de diferenciar a polaridade que existe entre dois átomos com a polaridade de uma molécula, além disso era preciso justificar sua resposta. Os estudantes não receberam nenhuma ilustração para raciocinar nessa questão. Deveriam apenas fazer uso de recuperação de memória, a partir das suas vivências nas aulas. Observou-se nessa questão, que apenas 35% dos sujeitos atingiram esse objetivo. A fala dos estudantes, na justificativa das respostas, não é suficiente para uma discussão mais aprofundada, pois eles praticamente não justificaram suas respostas. Porém a ausência de representações (imagens) na questão para ajudar o estudante a raciocinar, e as poucas aulas destinadas à polaridade, pode ser apontado como causa da ausência de justificativa nas respostas.

Além disso, percebe-se nos resultados que a compreensão de polaridade nas ligações e nas moléculas ainda não foi plenamente dominada. Dos estudantes que acertaram apenas um justificou, apresentando a seguinte afirmação: “porque depende muito da fórmula da molécula”. Mas não especificou o tipo de fórmula, se era molecular ou estrutural (como diferentes representações de um mesmo composto), ou se estava falando de compostos diferentes. Para Stull *et al.*³³ manusear modelos, ou trabalhar com diferentes representações pode acelerar o processo de aprendizagem, mas o estudante deve se esforçar para internalizar essas informações, para não se tornar dependentes dos recursos externos. Nesse sentido, esses autores analogicamente dizem

Tabela 3. Resultados referentes a atividade aprendizagem

Categoria	Classificação	Percentual de Estudantes (%)
Q1. Identificação de semelhanças de estruturas ao rotacionar no espaço	Identifica	41
	Não Identifica	59
Q2. Identificação de ângulos em estruturas planas de Lewis	Identifica	62
	Identifica parcialmente	35
	Não Identifica	3
Q3. Admite a relação entre geometria e T.E.	Admite	68
	Não Admite	32
Q4. Diferença entre polaridade de ligação e polaridade molecular	Eletronegatividade e geometria	35
	Eletronegatividade somente	65

que, os modelos devem ser andaime (ajuda) e não muletas (dependência).

A questão 05 era a mesma da atividade diagnóstica e tinha como objetivo identificar se o estudante consegue compreender estruturas apresentadas em 2D e transpor em uma imagem 3D. Foi novamente colocada por tratar-se do assunto central que foi trabalhado e devido ao elevado índice de acerto, verificar a coincidência ou não dos resultados. As respostas mostram (Figura 5), que o tipo de imagem utilizada na questão, facilita a visualização dos estudantes em sua percepção e interpretação. Em uma revisão de literatura, Carlisle, Tyson e Nieswandt³⁴, referem-se ao fato de que, figuras com alto padrão de simetria é assimilado mais facilmente pelo intelecto humano. Assim, as moléculas com poucos átomos, com representações 3D de forma simétrica, como os exemplos da questão, podem ter reduzido o esforço de processamento na mente dos estudantes, favorecendo a opção pelas respostas corretas. Percebeu-se que o uso das pranchetas para as representações das fórmulas em 3D favoreceu o reconhecimento e associação aos nomes das respectivas geometrias, uma vez que, observou-se um aumento nos acertos.

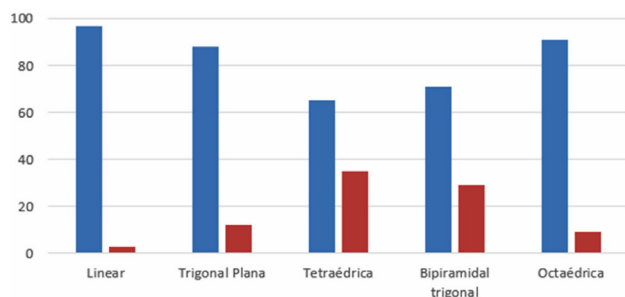


Figura 5. Identificação de formas geométricas obtidos na atividade de aprendizagem em percentual: (azul) identifica e (vermelho) não identifica

Na semiótica de Vygotsk³⁹ essas representações apresentam um significado direto entre o signo evocativo (no caso, as estruturas moleculares 3D) e a palavra a ser lembrada (o nome da geometria molecular). Elas são como uma cópia direta da palavra a ser lembrada, ou seja, já estão na mente do indivíduo, pois ele possui construtos psicológicos formados em seu contexto social e cultural que independe de conceitos científicos mais elaborados para os reconhecer. Ou pela semiótica peirciana na relação signo objeto, essas imagens seriam ícones^{36,40}, pois apresentam semelhança visual ou de propriedade com seu objeto.

A questão 06 também era idêntica a atividade diagnóstica. O resultado das respostas corretas é apresentado na Figura 6, comparando-se ao diagnóstico pode-se perceber um saldo positivo de aprendizagem nessa questão. Como a questão apresentava representações 3D para essas moléculas, parece ter facilitado a interpretação correta dos estudantes. O ganho positivo na aprendizagem pode ser atribuído às discussões em sala e reflexão sobre o assunto auxiliado pelo material didático.

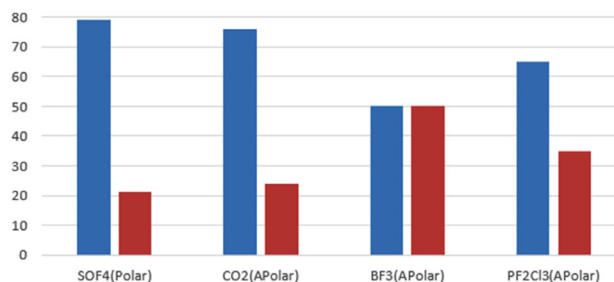


Figura 6. Resultado da Questão 6 que trata da polaridade das moléculas na atividade de aprendizagem em percentual: (azul) classifica e (vermelho) não classifica

Na questão 07 difere da questão diagnóstica, nela o estudante deveria ser capaz de reconhecer em que consiste a Teoria de Repulsão dos pares de Elétrons da Camada de Valência (RPECV). Foram fornecidas quatro alternativas, com apenas uma correta. Das respostas obtidas, 79% dos sujeitos optaram em escolher a alternativa verdadeira, na qual diz que a RPECV consiste em minimizar a repulsão elétron-elétron, de forma que os pares de elétrons se acomodem no espaço o mais distante possível uns dos outros. Os sujeitos apresentaram um bom rendimento nessa questão, comparado à atividade diagnóstica.

A questão 08 diferenciava-se da atividade diagnóstica nas alternativas, manteve-se as imagens e o objetivo. Essa forma de representação não apresentou o mesmo efeito positivo das representações presentes na questão 05, uma vez que os estudantes tiveram dificuldades de entendê-las adequadamente. As respostas mostram um resultado baixo na identificação das geometrias. Apenas 38% conseguiram identificar corretamente as geometrias das moléculas do metano (CH_4), da amônia (NH_3) e da água (H_2O). Mesmo com o índice de acerto abaixo da média, o pesquisador acredita que, havendo maior disposição de tempo para explorar o tema com o material didático, este pode contribuir no reconhecimento dessas formas, pois a estrutura de papel das pranchetas apresenta os limites de contorno das moléculas. Carlisle, Tyson e Nieswandt³⁴ apresentam pesquisas em que os estudantes têm dificuldades em raciocinar com figuras que apresentam noções de profundidade. Por isso os estudantes de química devem ser estimulados com atividades que envolvam representações diversificadas, para serem capazes de raciocinar sobre os diferentes tipos de representações, convertendo ou traduzindo uma forma em outra.

Já a questão 09 foi diferente da presente na atividade diagnóstica e tinha como objetivo identificar a capacidade do estudante em identificar a hibridização do átomo central a partir da geometria molecular. Pode-se ver que 35% dos sujeitos, conseguiram identificar corretamente a hibridização presente nas três moléculas apresentadas. Aqueles que acertaram mais de 50% da questão, ou seja, identificaram a hibridização de duas das três moléculas, foram classificados como os que “classificam parcialmente”. Estes correspondem a 21% do total de estudantes. Os que marcaram alternativas que tinha apenas uma ou nenhuma

molécula com hibridização correta, ou mesmo deixaram em branco, foram classificados como os que “não identificam a hibridização”, correspondendo a 44% dos estudantes. Na atividade diagnóstica, mostrou-se que os estudantes praticamente desconheciam a contribuição dessa teoria. O estudo da hibridização, segundo Penny *et al.*³¹ é relativamente abstrato, também é uma forma de raciocinar sobre a geometria molecular, sendo que esta não é determinada pela hibridização. Por ser uma abordagem teórica, pode ser prevista a partir da geometria, que era o objetivo dessa questão.³² Segundo Toma⁴¹, na hibridização, novos orbitais surgem a partir da combinação de orbitais atômicos que estão centrados em um mesmo núcleo assumindo arranjos mais compatíveis com a geometria molecular.⁴¹

Para pesquisadores as habilidades visuais de reconhecer se as moléculas são iguais ou não a partir de desenhos diferentes e serem capazes de imaginá-la rotacionando no espaço, faz parte de um conjunto chamado habilidades metavisuais, importante para o entendimento das propriedades das molécula e substâncias.^{16,18,33,34,37} Stull *et al.*³³ destacam a importância do uso de modelos 3D, em diferentes formatos, para desenvolver habilidades representacionais em química.³³ Assim, esse novo material desenvolvido e apresentado aqui, também deve ser avaliado quanto as suas potencialidades. Segundo Penny *et al.*, o estudo de hibridização é abstrato, também é uma forma de raciocinar sobre a geometria molecular, sendo que esta não é determinada pela hibridização³¹.

Segundo Wartha e Rezende⁴², em cada dimensão do conhecimento químico prevalecem determinadas qualidades semióticas de significação. No nível representacional do conhecimento químico, são encontradas todas as qualidades de significação semiótica, ou seja, indiciais, icônicas e simbólicas. Desta forma, a dimensão representacional certamente oferece maior dificuldade de compreensão do conhecimento químico⁴².

Resolveu-se aplicar a atividade após duas semanas, na tentativa de identificar se quando o estudante recebesse um estímulo sobre o conteúdo de geometria das moléculas, ele seria capaz de recordá-lo. Vale salientar que o conteúdo abordado em sala de aula é considerado uma “memória complexa”. Isso quer dizer que quanto mais complexa, mais difusa ela se encontrará no cérebro⁴³. Na questão 01, primeira parte, foram fornecidas fórmulas estruturais, com representações em forma de traço cunha, a fim de destacar a tridimensionalidade da molécula. As respostas dos estudantes mostraram os seguintes resultados: dos que acertaram (85,7%) identificaram a molécula NH₃ como polar; 68,6% reconheceram a molécula H₂O como polar; e 40% reconheceram ClF₃ como polar. Apenas 1 estudante deixou em branco a resposta para a molécula de água e do trifluoreto de cloro.

Na questão 02, as representações fornecidas aos estudantes continham átomos em forma de esferas, com tamanhos e cores diferentes, procurando ressaltar sua identidade e entre os pares de elétrons livres. Não foi

fornecida a representação simbólica. As ligações estavam distribuídas espacialmente, para tornar mais visível a tridimensionalidade da estrutura. Nessa questão, buscou-se saber se o estudante diferenciava arranjo, de geometria molecular, como também a capacidade de identificar a hibridização das duas moléculas apresentadas na ilustração, o percentual de acertos é mostrado na Figura 7.

Pode-se perceber que os estudantes apresentaram uma boa retenção de informações, raciocinando com as representações apresentadas. A segunda parte, também com duas questões, apresentava questões conceituais. As respostas dos estudantes na questão 01 foram consideradas certas ou erradas. Consideraram-se 31,4% de respostas corretas, 45,7% erradas e 22,9% deixaram em branco. As questões consideradas erradas apresentavam respostas semelhantes a esta: “Porque o PF₃ tem massa molar menor que o PCl₃”. Com relação a questão 02, a proposta era aprender fazendo. Assim, a questão pedia para o estudante montar duas estruturas moleculares 3D de origami, adaptadas do livro molecular origami.³⁰

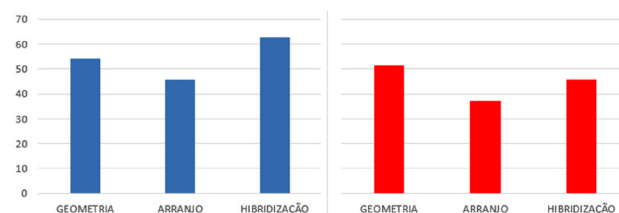


Figura 7. Resultado capacidade de identificar a longo prazo geometria, arranjo e hibridização em percentual: (azul) PF₄ e (vermelho) NH₃

As moléculas eram PF₃ e PHF₂. Cada estudante recebeu cópias em papel, recortadas, e deveriam dobrar e prender com cliques. Também receberam um marcador de ângulo e um transferidor. Este primeiro item da atividade envolvia coordenação motora, respeitou-se o tempo de cada um e habilidades de interpretação (intelectual) e prática (motora). Todos os sujeitos (100%) realizaram essa tarefa. O segundo item pediu-se para o estudante identificar a geometria as duas estruturas de origami 3D do PF₃ e PHF₂ e identificar que suas geometrias. Tivemos um acerto de 51,4%, 37,1% de erros e 11,4% deixaram em branco. No terceiro item o desafio era determinar de forma prática, os ângulos da estrutura PF₃ (F – P – F) cujo valor era 96,3°. Era esperada uma estimativa aproximada, pois o material não era de precisão. Foram consideradas corretas, variações para mais (limite máximo, 100°) e para menos (limite mínimo, 95°). Assim, para PF₃ foram observados 82,8% acertos, 8,6% deixaram em branco e 8,6% erraram. Para a molécula PHF₂ o percentual de acerto foi de 85,7%, 5,7% de erro e 8,6 em branco. Foi possível observar uma melhora no percentual de acerto com relação a identificação da hibridização da molécula. Através destes resultados observamos que a possibilidade de os estudantes realizarem a transição entre os três níveis representacionais, conforme reportado na literatura, foi capaz de permitir aos estudantes uma melhor compreensão da geometria espacial das moléculas.^{44,45}

Diante destes resultados pode-se identificar que a utilização do origami arquitetônico serviu como um instrumento para aprimorar e auxiliar o desenvolvimento de competências representacionais utilizando modelos concretos e que podem auxiliar o docente em temas que necessitam da visualização de objetos tridimensionais ou do entendimento de relações espaciais.

4. Conclusões

Foi possível observar que durante a realização da oficina, ocorreu uma participação positiva da turma nas atividades propostas, nas quais os estudantes mostraram-se interessados em aprender mais sobre o assunto, contribuindo para o desenvolvimento das aulas, respondendo aos questionamentos feitos pelo professor e procurando tirar suas dúvidas.

As categorizações realizadas a partir das respostas dos estudantes evidenciaram que após a realização da oficina com a utilização do origami arquitetônico melhorou a compreensão da geometria das moléculas e a transposição da imagem 2D em 3D, bem como a identificação da polaridade das moléculas. Identificou-se que o instrumento de análise utilizado precisa ser aperfeiçoado de forma a possibilitar uma melhor interpretação dos resultados apresentados pelos estudantes.

O caráter icônico desse tipo de representação pode ser utilizado para construir o conhecimento químico que seria muito mais difícil utilizando apenas palavras e imagens estáticas. Na Química a maioria dos objetos (entes químicos) é representada e, objetos representados funcionam semioticamente.

Além disso, o desenvolvimento das pranchetas proporcionou uma maior reflexão, por parte docente, levando em consideração os níveis de simbólicos e representacionais que se pretende desenvolver nos estudantes auxiliando assim, numa melhor visualização e compreensão da geometria das moléculas.

Informações Suplementares

O questionário de atividade a longo prazo (Figura 1S) está disponível gratuitamente em <https://rvq.sbjq.org.br/>.

Referências Bibliográficas

1. Pauletti, F.; Catelli, F.; Um estudo de caso: programas computacionais mediando o ensino de isomeria geométrica. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **2018**, *11*, 250. [Link]
2. Johnstone, A. H.; Macro and microchemistry. *School Science Review* **1982**, *64*, 377. [Link]
3. Mortimer, E. F.; Proposta curricular de química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Quim Nova* **2000**, *23*, 273. [Link]
4. Lemes, A. F. G.; Souza, K. A. de F. D. de; Cardoso, A. A.; Representações para o Processo de Dissolução em Livros Didáticos de Química: o Caso do PNLEM. *Química Nova na Escola* **2010**, *32*. [Link]
5. Oliveira, F. V.; Candito, V.; Braibante, M. E. F.; O uso dos sentidos, olfato e paladar, na percepção dos aromas: uma oficina temática para o Ensino de Química. *Química Nova na Escola* **2022**, *44*, 57. [Link]
6. Gkitzia, V.; Salta, K.; Tzougraki, C.; Students' competence in translating between different types of chemical representations. *Chemistry Education Research and Practice* **2020**, *21*, 307. [Link]
7. Reid, N.; The Triangle Model: The Contribution of the Late Professor Alex H. Johnstone. *Journal of Science Education* **2020**, *II*, 47. [Link]
8. Gilbert, J. K.; *Visualization: A Metacognitive Skill in Science and Science Education. E-book*. The Netherlands: Springer, 2005. [Link]
9. Dean, N. L.; Ewan, C.; Braden, D.; McIndoe, J. S.; Open-Source Laser-Cut-Model Kits for the Teaching of Molecular Geometry. *J Chem Educ* **2019**, *96*, 495. [Link]
10. Jones, O. A. H.; Spencer, M. J. S.; A Simplified Method for the 3D Printing of Molecular Models for Chemical Education. *J Chem Educ* **2018**, *95*, 88. [Link]
11. Grandó, J. W.; Cleophas, M. das G.; Aprendizagem Móvel no Ensino de Química: apontamentos sobre a Realidade Aumentada. *Química Nova na Escola* **2021**, *43*, 148. [Link]
12. Tavares, R.; Ornitz, R.; Souza, O.; De, A.; Correia, O.; Um Estudo sobre a “Tic” e o Ensino da Química. *Revista Gestão, Inovação e Tecnologia* **2013**, *3*, 155. [Link]
13. Moreira, M. C. D. A.; Rôças, G.; Pereira, M. V.; Anjos, M. B. dos; Produtos educacionais de um curso de mestrado profissional em ensino de ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **2018**, *11*, 344. [Link]
14. Lima, J. O. G. de; O Ensino Da Química Na Escola Básica: O Que Se Tem Na Prática, O Que Se Quer Em Teoria. *Revista ENCITEC* **2016**, *6*, 23. [Link]
15. Pozo, J. I.; Crespo, M. A. G.; A aprendizagem e o ensino de Ciências, Parte I: *Como os alunos aprendem ciências*, 5ª ed.; Porto Alegre: Artmed, 2009.
16. Harris, P. A.; Tese de Doutorado, Northcentral University School, 2019. [Link]
17. Khine, M. S.; *Visual-spatial ability in stem education: transforming research into practice* 2ª ed.; Australia: Springer, 2017.
18. Wang, L.; Em *Visual-spatial Ability in STEM Education* 1ª ed., Australia: Springer, 2016.
19. Chittleborough, G.; Treagust, D. F.; The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice* **2007**, *8*, 274. [Link]
20. Maciel, K. S. B.; Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Paraíba, 2022. [Link]
21. Ueno, T. R.; Nascimento, R. A. do; *Design e planejamento: aspectos tecnológicos*. 1ª ed., São Paulo: UNESP, 2009.

22. Chatani, M.; *Origamic architecture of Masahiro Chatani*. 1ª ed.; Japan: Shokokusha Publishing Company Ltd, 1983.
23. Tripp, D.; Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. *Educação e Pesquisa* **2005**, *31*, 443. [[Link](#)]
24. Corrêa, G. C. G.; Campos, I. C. P. de; Almagro, R. C.; Pesquisa-ação: uma abordagem prática de pesquisa qualitativa. *Ensaios Pedagógicos*, **2018**, *2*, 62. [[Link](#)]
25. Nunes, D. R. P.; Teoria, pesquisa e prática em Educação: a formação do professor-pesquisador. *Educação e Pesquisa* **2008**, *34*, 97. [[Link](#)]
26. Thiollent, M. J. M.; *Metodologia da Pesquisa-ação*, 3ª. ed., São Paulo: Editora Cortez, 2018.
27. Minayo, M. C. de S.; Assis, S. G. de; Souza, E. R. de; *Métodos, técnicas e relações em triangulação*, 1ª ed.; Rio de Janeiro: Fio Cruz, 2005.
28. Flick, W.; Lopes., M.; *Introdução à metodologia de pesquisa: um guia para iniciantes*, 1ª ed.; Porto Alegre: Penso, 2012.
29. Bogdan, R. C.; Biklen, S. K.; *Investigação qualitativa em educação*, 11ª ed., Portugal: Porto Editora, 1994.
30. Hanson, R. M.; *Molecular Origami: Precision Scale Models from Paper*, 1a. ed., California: University Science Books, 1995.
31. Penny, M. R.; Cao, Z. J.; Patel, B.; Sil Dos Santos, B.; Asquith, C. R. M.; Szulc, B. R.; Rao, Z. X.; Muwaffak, Z.; Malkinson, J. P.; Hilton, S. T.; Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning. *J Chem Educ* **2017**, *94*, 1265. [[Link](#)]
32. Penny, M. R.; Cao, Z. J.; Patel, B.; Sil Dos Santos, B.; Asquith, C. R. M.; Szulc, B. R.; Rao, Z. X.; Muwaffak, Z.; Malkinson, J. P.; Hilton, S. T.; Three-Dimensional Printing of a Scalable Molecular Model and Orbital Kit for Organic Chemistry Teaching and Learning. *J Chem Educ* **2017**, *94*, 1265. [[Link](#)]
33. Stull, A. T.; Gainer, M.; Padalkar, S.; Hegarty, M. Promoting Representational Competence with Molecular Models in Organic Chemistry. *J Chem Educ* **2016**, *93*, 994. [[Link](#)]
34. Carlisle, D.; Tyson, J.; Nieswandt, M.; Fostering spatial skill acquisition by general chemistry students. *Chemistry Education Research and Practice* **2015**, *16*, 478. [[Link](#)]
35. Garcia, L. E. B.; *Química orgânica: estruturas e propriedades*. 1ª Ed.; Porto Alegre: Bookman, 2014.
36. Gois, J.; Giordan, M.; Semiótica na Química: a teoria dos signos de Peirce para compreender a representação. *Química Nova na Escola* **2007**, *34*. [[Link](#)]
37. Locatelli, S.; Arroio, A.; Desenhando moléculas e pensando sobre elas: habilidade metavisual no ensino de isomeria geométrica. *Revista Brasileira de Ensino de Química* **2011**, *6*, 99. [[Link](#)]
38. Wartha, E. J.; Rezende, D. de B. A.; Elaboração conceitual em química orgânica na perspectiva da semiótica Peirceana. *Ciência e Educação* **2015**, *21*, 49. [[Link](#)].
39. Vygotsky, L. S.; *A construção do pensamento e da linguagem*, 2ª ed, São Paulo: WMF Martins Fontes 2009.
40. Farias, P.; Queiroz, J.; *Visualizando Signos: Modelos Visuais Para as Classificações Sígnicas de Charles S. Peirce*, 1a. ed., São Paulo: Blucher Open Access, 2017.
41. Toma, H. E.; *Estrutura atômica, ligações e estereoquímica*, 1ª ed., São Paulo: Editora Blucher, 2017.
42. 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* **2011**, *16*, 275. [[Link](#)]
43. Mourão, C. A.; Faria, N. C.; Memória. *Psicologia: Reflexão e Crítica* **2015**, *28*, 780. [[Link](#)]
44. Locatelli, S. W.; Arroio, A. X.; *Congresso Internación En Didáctica De Las Ciencias*, Sevilla, Espanha, 2017.
45. Fernandes, B. G.; Locatelli, S. W. O.; Conhecimento dos níveis representacionais na Química pelo levantamento de concepções de estudantes universitários. *Latin American Journal of Science Education* **2020**, *7*, 22018. [[Link](#)]