

Ensino de geometria molecular por meio do uso de modelo físico e digital: uma prática do Clube de Química

Cynthia Pereira*

Marcelo Fortes**

Marcus Hungaro***

Renan Grion****

Introdução

É notória a dificuldade do ser humano em visualizar formas tridimensionais quando representadas em duas dimensões, em uma folha de papel, por exemplo. Na química, essa dificuldade também se manifesta quando se deseja que o aluno consiga ser capaz de associar a representação bidimensional de uma molécula à correspondente estrutura tridimensional que apresenta na natureza. Os estudantes também precisam ser capazes de transformar uma determinada forma de representação em outra equivalente da melhor maneira possível.

Para solucionar esse problema, os estudiosos de educação em química têm buscado identificar as deficiências dos alunos e criar métodos de acesso e compreensão conceitual, bem como novas formas de instrução (Wu, H.; Krajcik, *et al.*, 2001).

Estudos recentes apontam a utilização de atividades lúdicas (como jogos digitais) e o emprego de computadores e *smartphones* conjuntamente com alusões à história das ciências como formas de potencializar o processo de ensino-aprendizagem, embora nem sempre sejam de fácil implementação em ambiente escolar (Ferreira, L. H.; Correa, K. C; Dutra, J. L., 2016).

Entre as ferramentas digitais de ensino de química, destacam-se os programas educacionais (PE), que contribuem significativamente para a melhoria da aprendizagem, facilitando a compreensão dos fenômenos por meio de visualização e propiciam ao aluno amplo conjunto de situações, procedimentos e demonstrações, tornando o ensino mais atraente, dinâmico e eficaz (Raupp; Serrano e Martins, 2008).

Com o objetivo de adequar e inovar a metodologia do ensino de química na compreensão da geometria molecular e polaridade das liga-

* Maj QCO Mag/Quim (EsAEx/2004, EsAO/2013). Licenciada, bacharel e mestre em química pela UFRJ. Professora de química do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Email: cynpereira@gmail.com

** Maj QCO Mag/Quim (EsAEx/2002, EsAO/2012). Licenciado e bacharel em química pela UFF. Professor de química do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Email: majorfortes2021@gmail.com

*** 2º Ten QOCON MQM (UNIFA/2021). Licenciado e mestre em química pela UFRRJ. Doutorando em química pela UFF. Professor de química do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Email: marcus.hungaro@gmail.com

**** 2º Ten QOCON MQM (UNIFA/2023). Licenciado em química pela UNIGRANRIO. Professor de química do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Email:renanrjst@gmail.com

ções químicas, este trabalho utilizou modelos físicos e digitais, com a aplicação do programa educacional Mo-Cubed, como ferramentas facilitadoras do processo ensino-aprendizagem.

Objetivos

Uso de modelos moleculares físicos e digitais, com a utilização do aplicativo Mo-Cubed, para compreender a representação das formas tridimensionais das moléculas e relacioná-las às suas estruturas e propriedades químicas.

Referenciais teóricos

O ensino de química

O ensino de química deve ser ministrado de forma mais contextualizada, estabelecendo conexões com a realidade dos alunos, com o propósito de tornar mais concreta uma disciplina muitas vezes percebida como abstrata. Nesse contexto, as aulas têm o objetivo não apenas de fomentar uma aprendizagem mais eficaz, mas também de transcender a mera memorização de conceitos e terminologia (Sá e Santin Filho, 2017). Uma abordagem educacional deve promover uma sinergia entre os conteúdos químicos e as necessidades presentes na sociedade.

Uma prática frequentemente mediada por ferramentas culturais (Vigotski, 2003), comumente observada em salas de aula e que ocorre quando os professores compartilham significados com os alunos, é a utilização de recursos educacionais (RE). Essa prática costuma ser integrada à atuação performática dos professores, enriquecendo a comunicação do conhecimento durante o ato de ensinar. Para Mortimer e Quadros (2018), o uso de RE é muitas vezes automático, sem que o professor reflita explicitamente sobre suas ações.

Os RE são empregados pelos professores de ciências para transmitir conhecimentos científicos. Oliveira e colaboradores (2019) identificaram duas categorias principais de RE: (1) meios mediacionais, que se referem a RE imbuídos de significados que influenciam diretamente a ação, como modelos moleculares (MM) e aparatos experimentais; e (2) meios utilizados como suportes materiais que auxiliam o uso de um meio mediacional. Nessa segunda categoria, podem ser citados quadros-negros, livros, cadernos e dispositivos de projeção de imagens.

No contexto do ensino de química, em particular, certos RE são empregados com finalidades representacionais e analógicas, visto que essa disciplina é amplamente reconhecida como a mais abstrata no campo das ciências (Habracken, 1996). Dessa forma, os RE têm o papel de construir, selecionar, interpretar e usar representações disciplinares na comunicação, resolução de problemas e aprendizado (Stieff *et al.*, 2016).

Em busca da melhoria no processo de aprendizagem da química, podemos citar a utilização das aulas experimentais em laboratório, que fortalecem os vínculos entre teoria e prática, assim como o uso de atividades lúdicas, por exemplo jogos digitais, e o emprego de computadores e *smartphones* como formas de potencializar o processo.

Geometria molecular no ensino de química

A geometria molecular é um conceito fundamental na química, responsável por descrever a forma tridimensional de uma molécula. Essa configuração é determinada pela disposição espacial dos átomos que constituem a molécula e é influenciada tanto pela natureza desses átomos quanto pela dis-

tribuição dos pares de elétrons que formam as ligações químicas. Seu estudo é importante, uma vez que exerce impacto direto nas propriedades químicas e físicas das substâncias, incluindo características como polaridade, reatividade química, solubilidade e pontos de fusão e ebulição.

Diversos tipos de geometria molecular são conhecidos: linear, angular, trigonal planar, tetraédrica, entre outras. Cada um desses arranjos possui suas particularidades, desempenhando um papel crucial na compreensão das propriedades específicas das substâncias.

No contexto educacional, é comum que os professores utilizem representações bidimensionais das geometrias moleculares no quadro-negro durante as aulas, auxiliando os alunos a visualizarem as estru-

turas tridimensionais. Essa abordagem, entretanto, muitas vezes se mostra insuficiente, uma vez que retratar uma forma tridimensional através de um meio bidimensional é um desafio considerável (Martins; Freitas; Vasconcelos, 2020).

Uma estratégia para enriquecer o processo de ensino e aprendizagem é a utilização de recursos facilitadores e motivadores, como, por exemplo, modelos moleculares (MM) e atividades experimentais. Os MM desempenham o papel de representar visualmente algo que é abstrato (**figuras 1a e 1b**). Esse recurso facilita a compreensão de conceitos importantes e pode ser adaptado em termos de formas, núcleos e materiais de acordo com as necessidades de cada aula ou situação de ensino e aprendizagem (Migliato Filho, 2005; Lima e Lima-Neto, 1999).



Figura 1a – Jogo de MM do Laboratório de Química do CMRJ
Fonte: Os autores



Figura 1b – Geometria tetraédrica construída pelos alunos do Clube de Química usando MM
Fonte: Os autores

Quando os alunos se deparam com a tarefa de compreender conceitos considerados abstratos na área das ciências, surge o desafio de fazê-los perceber a química como algo concreto e relevante para a sua realidade (Giordan, 2001). Os MM, ao representa-

rem as estruturas em uma escala maior, tornam-se ferramentas que facilitam a visualização e, portanto, executam um papel de apoio efetivo.

Além dos modelos moleculares físicos, o uso de aplicativos de modelagem molecular no contexto do

ensino de química tem se mostrado altamente eficaz. Um exemplo notável é o aplicativo Mo-Cubed, que possibilita aos alunos a exploração de estruturas tridimensionais por meio de dispositivos eletrônicos. Essa abordagem oferece uma experiência mais tangível e dinâmica, permitindo uma imersão interativa no estudo da geometria molecular.

Uso de programas educacionais no ensino de química

A incorporação de programas educacionais tem se tornado uma prática cada vez mais frequente no ensino de química, impulsionada pelo aumento do acesso à tecnologia e pela busca de adaptação aos novos modelos de aprendizado. Essas ferramentas abrangem jogos educativos, simulações e programas especializados, que fornecem aos alunos uma abordagem interativa, desmistificando conceitos complexos. Também possibilitam uma adaptação personalizada do ensino, com o ajuste do conteúdo às necessidades individuais dos alunos.

O Mo-Cubed é um aplicativo (App) educacional de química gratuito, disponível na loja do *Google Play*. É voltado para estudantes do ensino médio e tem como objetivo ajudar na compreensão dos conceitos básicos de química por meio de desafios interativos. O App foi desenvolvido pela AMase Software Studio.

Possui uma série de desafios educacionais que exploram conceitos químicos, tais como estrutura atômica, tabela periódica, ligações químicas e estequiometria. O App também possui uma seção de aprendizagem, que explica de forma mais detalhada os conceitos vistos na disciplina de química.

Apesar de ser um programa educacional que se vale da tecnologia para tornar o ensino mais interessante, é importante ressaltar que o uso do App não deve substituir o ensino tradicional, mas pode ser utilizado como uma ferramenta complementar de aprendizado. Dessa maneira, o App Mo-Cubed pode ser utilizado pelos alunos para praticar e revisar os conceitos estudados em sala de aula. Com isso, o App pode ajudar a melhorar o desempenho dos alunos em química, tornando o aprendizado mais acessível e estimulante para todos.

Metodologia

A aula experimental foi realizada no Colégio Militar do Rio de Janeiro (CMRJ) e teve a participação de 15 alunos do Clube de Química. O objetivo central dessa experiência foi explorar a geometria molecular por meio de uma abordagem inovadora, envolvendo a construção de MM físicos e digitais.

No dia anterior à aula experimental, foi aplicado um questionário no formato Google Formulário aos alunos para avaliar o nível de compreensão e familiaridade dos estudantes com os conceitos de geometria molecular. Os resultados forneceram uma base para a elaboração da aula prática, permitindo que o conteúdo fosse direcionado de maneira mais eficaz e adaptado às necessidades específicas dos alunos.

A abordagem pedagógica iniciou-se com uma aula tradicional, ministrada pelos professores de química major Fortes e 2º tenente Hungaro, no Laboratório de Química do CMRJ. Durante essa sessão, foram explorados conceitos de geometria molecular por meio de explicações no quadro-negro. Essa etapa revelou algumas das dificuldades frequentemente

enfrentadas por professores de química no ensino médio.

O segundo estágio da aula consistiu na transição para uma abordagem mais prática e tridimensional. Os alunos foram instruídos pelos professores a criarem estruturas moleculares em três dimensões usando



Figura 2a – Major Fortes nas instruções de como usar o jogo de modelo moleculares
Fonte: Os autores

Essa atividade permitiu que os alunos transcendessem a limitação do quadro-negro e experimentassem diretamente a natureza tridimensional das moléculas. A criação manual dos MM forneceu uma compreensão mais concreta das ligações entre átomos e das geometrias resultantes. A liberdade de escolha da molécula também estimulou o engajamento e a participação ativa dos alunos, uma vez que puderam trabalhar com algo que lhes era familiar e de interesse.

Na etapa final da aula, ocorreu a introdução e utilização do aplicativo Mo-Cubed. O 2º tenente Hungaro forneceu uma instrução detalhada sobre como utilizar o aplicativo, apresentando suas fun-

do o jogo de MM disponível no laboratório (**figuras 2a e 2b**). Os estudantes tiveram a oportunidade de escolher qualquer molécula que estivesse dentro de seu conhecimento prévio e, a partir dela, construir um modelo molecular tridimensional.



Figura 2b – 2º Ten Hungaro nas instruções de como usar o jogo de modelo moleculares
Fonte: Os autores

cionalidades e recursos. Esse passo preliminar visava garantir que os alunos compreendessem plenamente como tirar o máximo proveito da ferramenta digital.

Uma vez instruídos, os alunos aplicaram o Mo-Cubed ao mesmo conjunto de moléculas que já haviam construído com os MM. Essa abordagem permitiu uma transição perfeita entre os modelos físicos e digitais, garantindo que as mesmas estruturas químicas tenham sido abordadas em ambos os contextos. Isso deu uma oportunidade única para comparar as representações tridimensionais feitas manualmente com as versões digitais geradas pelo aplicativo (**figuras 3a e 3b**).

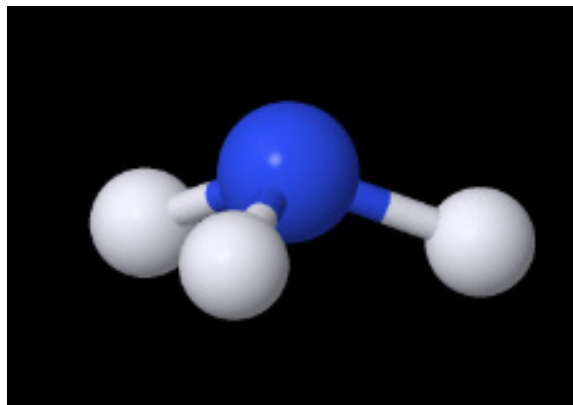


Figura 3a – Molécula da amônia (NH_3) com geometria piramidal construída com o App Mo-Cubed, utilizando o modelo “ball and sticks” disponível no App. Azul representa o átomo de nitrogênio e branco representa os átomos de hidrogênio
Fonte: Os autores

Após a aula, a fim de avaliar a eficácia do uso do MM e do aplicativo Mo-Cubed, um formulário Google foi disponibilizado aos alunos, solicitando *feedback* sobre sua experiência com a abordagem de ensino aplicada.

Resultados e discussão

A complexidade da tarefa de representar as geometrias moleculares em um ambiente bidimensional tornou-se evidente na prática realizada. Muitas das geometrias possuem estruturas tridimensionais intrincadas, o que pode dificultar a visualização clara em um quadro-negro, que é limitado a duas dimensões. A tradução de conceitos espaciais 3D em uma superfície 2D, como o quadro, pode resultar em simplificações que não capturam a verdadeira natureza tridimensional das observações. Esse desafio é ampliado quando os alunos precisam entender as relações complexas entre átomos e ligações.

A criação de MM físicos proporcionou uma experiência tátil e visual, auxiliando os alunos na percepção das estruturas que antes só tinham sido

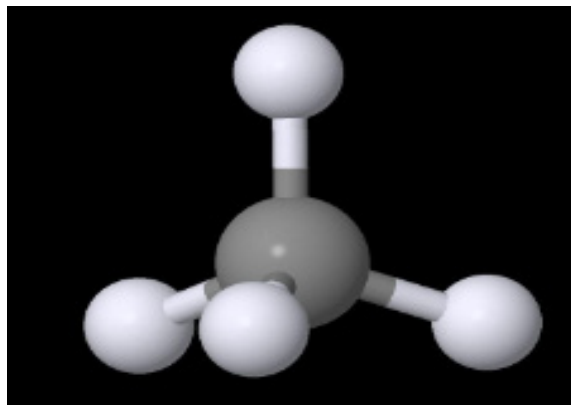


Figura 3b: Molécula do metano (CH_4) com geometria tetraédrica construída com o App Mo-Cubed, utilizando o modelo “ball and sticks” disponível no App. Cinza representa o átomo de carbono e branco representa os átomos de hidrogênio
Fonte: Os autores

assimiladas de forma abstrata. Isso contribuiu para uma maior conexão entre os conceitos teóricos e suas representações práticas no espaço tridimensional.

A utilização do Mo-Cubed expandiu a compreensão dos alunos ao permitir uma visualização tridimensional interativa das estruturas moleculares em seus dispositivos eletrônicos. A capacidade de girar, ampliar e explorar as estruturas a partir de diferentes ângulos enriqueceu o aprendizado, proporcionando uma percepção mais completa e profunda das geometrias moleculares e das ligações químicas.

A introdução de MM físicos e digitais despertou um alto nível de engajamento e interesse por parte dos alunos. A oportunidade de construir, manipular e explorar estruturas moleculares de forma tangível e visualmente atraente estimulou os estudantes. Alunos com diferentes estilos de aprendizado puderam se beneficiar da oportunidade de trabalhar tanto com modelos digitais quanto físicos. Isso ajudou a criar um ambiente de aprendizado mais inclusivo e diversificado.

Muitas vezes, os conceitos vistos em sala de aula podem parecer distantes da realidade cotidiana dos alunos. A utilização dos MM físicos e digitais ofereceu um meio de interação com as estruturas moleculares, tornando a teoria mais concreta e compreensível, além de ser uma oportunidade de inserção em conceitos cada vez mais complexos.

Uma desvantagem do aplicativo Mo-Cubed é que ele está atualmente disponível apenas para sistemas Android. Isso limitou sua acessibilidade aos estudantes que utilizavam outros sistemas operacionais, como IOS ou Windows. Outra desvantagem relatada pelos alunos foi a dificuldade ao tentar baixar e instalar o App. Como acontece com qualquer aplicativo, eventualmente podem surgir falhas técnicas e *bugs*. Essas questões podem interromper o processo de aprendizado, causando frustração e prejudicando a integração fluida do aplicativo em atividades educacionais.

Análise do Formulário Google respondido pelos alunos

A análise dos dados coletados do Formulário Google indica uma tendência significativa a favor do uso de MM físicos para aprimorar a compreensão da *geometria molecular e da polaridade das moléculas*.

Partindo da pergunta: “*Você acredita que o uso de MM físicos contribui para a compreensão do conteúdo de geometria molecular e polaridade das moléculas?*”, a maioria expressiva de 86,7% dos participantes respondeu afirmativamente, reconhecendo que a utilização de modelos físicos contribuiu positivamente para a compreensão do assunto. Isso sugere que o envolvimento prático com modelos auxiliou na visualização de estruturas tridimensionais complexas, permitindo que os

alunos entendessem o arranjo espacial dos átomos e a polaridade das moléculas de forma mais eficaz.

Essas respostas são apoiadas por depoimentos específicos de alguns alunos. Por exemplo, um aluno, identificado como aluno X, disse: “*O uso desses modelos ajuda na compreensão do conteúdo, pois facilita que o aluno consiga ter a percepção da estrutura tridimensional das moléculas, não vendo apenas desenhado em um quadro plano*”.

A resposta do aluno destacou uma percepção fundamental sobre os benefícios dos MM físicos no processo de aprendizado. Ele enfatizou que esses modelos são eficazes para a compreensão mais completa das estruturas químicas, superando a limitação das representações bidimensionais em um quadro. Ao mencionar a “*percepção da estrutura tridimensional*”, o aluno reconheceu que os modelos físicos permitiram uma visualização mais tangível das moléculas, o que é essencial para entender sua geometria e arranjo no espaço.

O aluno também percebeu a diferença entre uma representação plana em um quadro e a experiência prática de interagir com MM físicos. A palavra “*facilita*” indica que os modelos físicos tornam o processo de compreensão mais intuitivo. Essa observação está definida com as teorias educacionais que enfatizam a importância da aprendizagem baseada em experiências concretas e tangíveis (Buty, C.; Mortimer, E. F., 2008).

Já o aluno identificado como Y respondeu: “*Além de ser um método mais divertido, atrai mais a atenção, eu acho que estimula mais a aprendizagem. Um método diferente para aprender a geometria*”.

A resposta do aluno Y destaca aspectos importantes sobre os benefícios do uso de MM físicos no ensino da geometria molecular.

Primeiramente, ele mencionou que essa abordagem foi mais divertida, o que indica que os MM físicos conseguem envolver os alunos de uma maneira mais dinâmica do que os métodos tradicionais. O fato de a atividade ser divertida pode aumentar a motivação dos alunos para participar e aprender.

Além disso, o aluno observou que o uso de modelos físicos moleculares atraiu mais a atenção de todos. Isso sugere que a manipulação e exploração desses modelos torna a interação dos alunos maior, o que é fundamental para a retenção de informações.

A observação final do aluno sobre essa abordagem ser um “*método diferente para aprender a geometria*” indica que o uso de MM físicos forneceu uma perspectiva inovadora e única sobre o conteúdo. A diversificação dos métodos de ensino pode ser vantajosa para atender às necessidades de diferentes estilos de aprendizagem e melhorar a compreensão.

Por outro lado, uma minoria de 13,3% respondeu negativamente, indicando que não acreditava que os MM físicos contribuíssem para o seu entendimento. Embora esse grupo seja menor, ele ainda destaca a presença de diferentes preferências e estilos de aprendizagem entre os alunos. Possivelmente, esses discentes não acharam os modelos físicos tão atraentes ou úteis. Isso também reflete as preferências individuais de aprendizagem, sendo um desafio na utilização eficaz dos modelos físicos.

O formulário enviado aos alunos também incluiu outra questão fundamental: “*Você considera que o uso do App de celular Mo-Cubed ajudou na compreensão do conteúdo de geometria molecular e polaridade das moléculas?*”

Dos participantes, 66,7% responderam afirmativamente, enquanto 33,3% indicaram que o aplicativo não contribuiu para sua compreensão. Essa divi-

são nas respostas sugere que o aplicativo Mo-Cubed não foi igualmente eficaz para todos os alunos em termos de auxílio na compreensão dos conceitos de geometria molecular e polaridade das moléculas.

As respostas positivas refletem uma percepção de que o aplicativo administrado tem um benefício tangível no processo de aprendizado, possivelmente por meio de sua abordagem interativa e visual para a exploração tridimensional das moléculas. Esses alunos podem ter se sentido mais engajados e motivados ao utilizar a plataforma digital, o que evoluiu para uma compreensão mais sólida dos conteúdos.

Por outro lado, as respostas negativas podem ser indicativas de algumas restrições do aplicativo Mo-Cubed para esse grupo específico. As dificuldades podem estar relacionadas à usabilidade do aplicativo, ao nível de familiaridade com a tecnologia, à abordagem de ensino adotada no uso ou a outros fatores individuais. Além disso, a divisão nas respostas também pode ser influenciada pelo estilo de aprendizado de cada aluno, já que algumas pessoas podem se beneficiar mais do uso de modelos físicos ou de outras abordagens de ensino.

Em resumo, os resultados demonstram que o uso do aplicativo Mo-Cubed teve um impacto positivo para a maioria dos alunos na compreensão da geometria molecular e polaridade das moléculas. A presença de respostas negativas, no entanto, indica a importância de adaptações tecnológicas às diferentes necessidades dos estudantes, a fim de garantir uma experiência de ensino mais inclusiva e eficaz.

Alguns depoimentos específicos corroboram a eficiência do uso do App para o aprendizado. Por exemplo, um aluno, identificado como aluno Z, disse: “*Uma forma didática e simples de aprender química. Com ajuda do prof. Hungaro, foi fácil mexer no App e saber seus modos e funções.*”

Esse comentário realça a importância do papel do instrutor na introdução de tecnologias educacionais. A assistência do professor não só ajuda os alunos a superarem possíveis desafios técnicos, mas também enriquece a experiência de aprendizado, garantindo que os recursos sejam explorados de maneira eficaz.

Já um outro aluno, identificado como aluno W, revelou uma percepção positiva e interessante sobre o uso do aplicativo Mo-Cubed em comparação com os modelos físicos moleculares. Ele mencionou que o aplicativo tem *“o mesmo efeito positivo que os modelos físicos, porém de maneira mais fácil, rápida e acessível.”* Essa avaliação sugere que o aplicativo foi capaz de proporcionar uma experiência de aprendizado semelhante ao dos modelos físicos, mas com vantagens adicionais. Ademais, ele destacou a facilidade e rapidez com que o aplicativo permitiu a exploração das moléculas. Esse aspecto é especialmente significativo, pois a complexidade da geometria molecular e polaridade das moléculas pode ser desafiadora para os alunos.

A acessibilidade do aplicativo também foi ressaltada na resposta do aluno W. A disponibilidade de recursos digitais pode eliminar algumas barreiras ligadas aos modelos físicos, como a necessidade de materiais específicos e espaço para montagem. Dessa forma, torna o aprendizado mais conveniente e flexível para os alunos, permitindo que eles explorem as estruturas moleculares em seus próprios ritmos e locais de escolha.

A percepção de que o aplicativo produz um efeito semelhante aos modelos físicos sugere que a tecnologia está transmitindo efetivamente os conceitos necessários. É importante, no entanto, considerar que a combinação de ambos os métodos pode fornecer uma compreensão mais abrangente e robusta dos conceitos, aproveitando as vantagens exclusivas de cada abordagem.

Em resumo, as respostas dos alunos demonstraram que a abordagem que combina modelos físicos e digitais, como o aplicativo Mo-Cubed, ofereceu uma maneira inovadora e acessível de explorar a geometria molecular e polaridade das moléculas. Além disso, destacam-se a importância da orientação do professor e da adaptabilidade das tecnologias educacionais para atender às necessidades individuais e promover uma experiência de aprendizado enriquecedora.

Conclusões

A integração de modelos moleculares físicos e digitais na educação química emerge como uma abordagem promissora para uma compreensão aprofundada dos conceitos complexos de geometria molecular e polaridade das moléculas. Aproveitando a sinergia entre modelos construídos manualmente e o uso de aplicativos como o Mo-Cubed, os alunos conseguem explorar estruturas tridimensionais de moléculas, transcendendo as representações bidimensionais tradicionais.

A aula experimental realizada apresentou resultados notáveis, evidenciando que a abordagem inovadora se destaca ao superar desafios previamente existentes. O uso de modelos físicos abriu caminho para uma compreensão tangível e visual da geometria molecular, sendo especialmente útil para os alunos que enfrentam dificuldades em visualizar estruturas tridimensionais em um ambiente bidimensional. Ademais, os estudantes se envolveram com entusiasmo na criação e exploração desses modelos, tornando-se os agentes de seu processo de ensino-aprendizagem, saindo da posição passiva de apenas receptor de conteúdos, confirmando que a abordagem prática é uma forma eficaz de aprendizado.

O aplicativo Mo-Cubed acrescentou uma dimensão digital à experiência educacional, oferecendo uma maneira acessível e interativa de explorar as mesmas estruturas moleculares. A maioria dos alunos relatou benefícios no uso do aplicativo, observando que ele contribuiu para uma melhor compreensão dos conceitos observados. Algumas restrições, no entanto, como a disponibilidade exclusiva para sistemas Android e custos após o uso delimitado, também foram identificadas. Essas observações ressaltam a importância de considerar a acessibilidade e a sustentabilidade ao incorporar tecnologias educacionais.

O *feedback* direto dos alunos garantiu a eficácia da abordagem, com relatos de que os modelos moleculares, sejam físicos ou digitais, estimulam uma compreensão mais profunda do conteúdo e o interesse pela geometria molecular. A análise das respostas também ilustra a facilidade de uso do aplicativo Mo-Cubed, sua capacidade de tornar o aprendizado mais emocionante e atraente, e a percepção de que ele oferece um efeito semelhante aos modelos físicos. A opinião positiva dos alunos sobre a simplicidade de uso do aplicativo sob orientação do professor

destaca a importância de fornecer recursos acessíveis e orientações adequadas para melhorar a experiência educacional. Essas observações, no entanto, também ressaltam a necessidade contínua de adaptação e suporte para garantir que todos os alunos possam aproveitar ao máximo as tecnologias educacionais. Essa personalização é fundamental para atender às diferentes habilidades, níveis de familiaridade com a tecnologia e estilos de aprendizado dos alunos, garantindo um ambiente de ensino inclusivo e eficaz.

Portanto, a interseção entre a abordagem prática dos modelos moleculares físicos e digitais, usando o App Mo-Cubed, é uma combinação eficaz para aprimorar o interesse dos alunos pela geometria molecular e polaridade das moléculas. Ao explorar diferentes dimensões do aprendizado, essa metodologia permite uma abordagem diferenciada para a compreensão dos conceitos, cria um ambiente de aprendizagem envolvente e atraente, além de oferecer uma jornada de descoberta mais abrangente e enriquecedora, capacitando os estudantes a enfrentar os desafios presentes e futuros da química e da ciência.

Referências

BUTY, C.; MORTIMER, E. F. (2008). Dialogic/authoritative discourse and modelling in a high school teaching sequence on optics. **International Journal of Science Education**, 30 (12), 1635-1660. <https://doi.org/10.1080/09500690701466280>.

FERREIRA, L. H.; CORREA, K. Ce. S.; DUTRA, J. de L. (2016). Análise das estratégias para o ensino da Tabela Periódica. **Revista Quím. nova esc**, Vol. 38, n° 4, p. 349-359.

GIORDAN, Marcelo. **O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências**. In: II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. O III Enpec ocorreu no Park Hotel Atibaia, no período de 7 a 10 de novembro de 2001, em Atibaia, SP. Disponível em: <<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/iienpec/dados/trabalhos/a33.pdf>>.

HABRAKEN, C. L. (1996). Perceptions of chemistry: Why is the common perception of chemistry, the most visual of sciences, so distorted. **Journal of Science Education and Technology**, (5), 193-201. <https://doi.org/10.1007/BF01575303>.

LIMA, M. B.; LIMA-NETO, Pedro de (1999). Construção de Modelos para Ilustração de Estruturas Moleculares em Aulas de Química. Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. **Química Nova**, 22(6), 903. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0d/qn/v22n6/2598.pdf>>.

MARTINS, M. G.; FREITAS, G. F. G.; VASCONCELOS, P. H. M. (2020). A dificuldade dos alunos na visualização de moléculas em três dimensões no ensino de geometria molecular. **Conexões – Ciência e Tecnologia**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 45-53. IFCE. <http://dx.doi.org/10.21439/conexoes.v14i3.1400>.

MIGLIATO FILHO, José Roberto (2005). **Utilização de Modelos Moleculares no Ensino de Estequiometria para Alunos do Ensino Médio** – Estequiometria Dissertação de Mestrado – UFSCar, São Carlos (SP). Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/6616>>.

MORTIMER, E. F.; QUADROS, A. L. (Eds.) (2018). **Multimodalidade no Ensino Superior**. UNIJUÍ.

OLIVEIRA, L. A.; SÁ, E. F.; MORTIMER, E. F. (2019). Transformação da Ação Mediada a partir da Res-significação do Uso de Objetos Mediadores em Aulas do Ensino Superior. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 19(u), 251-274. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u251274>.

SÁ, M. B. Z.; SANTIN FILHO, O. (2017) “Alguns Aspectos da Obra de Piaget e sua Contribuição para o Ensino de Química”. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**. Araraquara, p. 190-204. doi: 10.21723/riace.v12.n1.8180.

STIEFF, M.; SCOPELITIS, S.; LIRA, M. E.; DESUTTER, D. (2016). Improving Representational Competence with Concrete Models. **Science Education**, 100(2), 344-363. <https://doi.org/10.1002/sce.21203>.

VIGOTSKI, L. S. (2003). **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores** (6. ed.). Martins Fontes.

WU, H. K.; KRAJCIK, J. S.; SOLOWAY, E. (2001). Promoting conceptual understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, 38(7), 821-842.

Agradecimento

Em especial, desejamos expressar nossa profunda gratidão ao estimado colega Roque, servidor civil recém-aposentado, que dedicou mais de 30 anos de sua carreira como laboratorista de química no CMRJ. Seu vasto conhecimento, orientações e apoio inestimável foram de importância fundamental para o sucesso das atividades experimentais realizadas no colégio.