



ALEXANDRIA

Revista de Educação em Ciência e Tecnologia

Aprimorando a Percepção Espacial em Geometria Molecular através do Estudo com Mapas Conceituais e Tecnologia de Realidade Aumentada

Enhancing Spatial Perception in Molecular Geometry through Concept Mapping and Augmented Reality Technology

Kleyfton Soares da Silva^a; Paulo Rogerio Miranda Correia^b

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Penedo, Brasil - kley.soares@hotmail.com

^b Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil - prmc@usp.br

Palavras-chave:

Estrutura molecular.
Mapa conceitual.
Realidade aumentada.
Representação visual.

Resumo: O objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de mapa conceitual com realidade aumentada na aprendizagem de geometria molecular. Estudantes (N=55) do Ensino Superior responderam a um pré-teste sobre geometria. Separou-se os estudantes em dois grupos para revisarem o assunto com o apoio de um mapa conceitual com moléculas estáticas (grupo A) e de um mapa conceitual com realidade aumentada (grupo B) – recurso digital desenvolvido especialmente para esta pesquisa. Solicitou-se que todos os estudantes construíssem três moléculas físicas com bolas de isopor e palitos. Atribuiu-se uma nota de 0 a 10 para o pré-teste e tarefa de construção de moléculas físicas. O resultado do pré-teste mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos. Na tarefa de construção de moléculas físicas houve diferença significativa entre os grupos. Os resultados sugerem que o desempenho superior do grupo B pode ter sido influenciado por fatores emocionais e de atenção, além da interação com as moléculas em movimento na realidade aumentada, embora essas suposições não tenham sido diretamente comprovadas pela pesquisa principal.

Keywords:

Molecular structure.
Concept map.
Augmented reality.
Visual representation.

Abstract: The aim was to evaluate the effect of applying a concept map with augmented reality on molecular geometry learning. Higher Education students (N=55) answered a pre-test on molecular geometry. The students were separated into two groups to review the subject with the support of a conceptual map with static molecules (group A) and a conceptual map with augmented reality (group B) – a digital resource developed especially for this research. All students were asked to build three molecules with styrofoam balls and wood sticks. A score from 0 to 10 was assigned to the pre-test and task of building physical molecules. The result of the pre-test showed that there was no significant difference between the groups. In the task of building physical molecules there was a significant difference between the groups. The results suggest that the higher performance of Group B may have been influenced by emotional and attention-related factors, in addition to the interaction with the dynamic molecules in augmented reality, although these assumptions have not been directly substantiated by the main research.



Esta obra foi licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Introdução

Um dos objetivos do ensino de química é prover explicações científicas para os mais diversos fenômenos da natureza, apresentando o empreendimento científico que vai desde a investigação dos fenômenos até a comunicação dos resultados para o público em geral. Assim, ensinar química não deve se restringir à transferência de conhecimentos pré-determinados, mas contribuir com a sociedade a partir do letramento científico, incluindo o estudo do processo de investigação e construção do conhecimento (EILAM; GILBERT, 2014).

As representações visuais desempenham um papel importante no desenvolvimento do conhecimento científico, uma vez que aproximam o público das questões científicas a partir de modelos e demais representações visuais. Dessa forma, a aquisição de conhecimentos químicos depende substancialmente da interpretação de múltiplas representações (SILVA; FONSECA, 2021). Segundo Kozma e Russell (2005, p. 123, tradução nossa), “sempre houve uma forte relação entre a compreensão dos fenômenos químicos e as representações externas que eles usam para representá-los”.

Embora as representações desempenhem um papel importante no aprimoramento da compreensão dos conceitos químicos, seu uso não garante que professores e estudantes estejam imunes a dificuldades de compreensão, uma vez que os fenômenos científicos e suas representações intrinsecamente apresentam desafios significativos. Os conhecimentos químicos “são altamente complexos, compreendendo muitos componentes, níveis micro e macro com interações explícitas ou implícitas dentro e entre eles, são concretos ou abstratos, ou são entidades dinâmicas ou estáticas” (EILAM; GILBERT, 2014, p. 4, tradução nossa).

Nesse sentido, diante das especificidades do ensino e aprendizagem de química, as estratégias didáticas precisam estar alinhadas para que professor e estudante desenvolvam competências e habilidades relativas às representações, tendo em vista que “para desenvolver as competências representacionais dos alunos, os próprios professores têm que ser fluentes, proficientes e eficientes no uso dessas representações” (EILAM; GILBERT, 2014, p. 4, tradução nossa).

A geometria molecular faz parte dos saberes químicos que requisitam competências representacionais para serem compreendidos (SILVA; FONSECA, 2021). No âmbito das estratégias educacionais que envolvem tecnologias digitais para melhorar a visualização de moléculas, surgiu uma oportunidade para examinar se a tecnologia de realidade aumentada (que apresenta moléculas em 3D em movimento) contribui para o desenvolvimento de habilidades espaciais em comparação com os modelos moleculares 3D estáticos. Esse tipo de pesquisa é importante para enfatizar as limitações e potencialidades de recursos tecnológicos digitais na aprendizagem de química.

Portanto, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de mapa conceitual com representações moleculares em realidade aumentada na aprendizagem de geometria molecular. A hipótese foi que o mapa conceitual com realidade aumentada favorece a percepção espacial dos estudantes do grupo B para a construção de moléculas físicas com bolas de isopor e palitos. Respostas à questão de pesquisa “a percepção espacial de geometria molecular é mais eficaz com a visualização de moléculas em realidade aumentada, em comparação com moléculas 3D estáticas?” sugerem que o trabalho com múltiplas representações e, em especial, com a tecnologia de realidade aumentada, pode favorecer a percepção espacial de representações moleculares.

As representações visuais em química

Pesquisadores sugerem que as estratégias didáticas envolvendo representações devem considerar os diferentes níveis do conhecimento químico, isto é, os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico que circundam tais saberes (MARSON; TORRES, 2011). Lin et al. (2016) adaptaram a tríade de Johnstone (1993) a partir das noções de concretude-abstração de Justi et al. (2009), resultando em um modelo que estabelece relações de concretude entre os níveis do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e simbólico).

Dessa forma, os fenômenos correspondentes ao nível macroscópico são considerados mais concretos, ou seja, podem ser observados e interpretados mais intuitivamente. Por outro lado, os conhecimentos que requisitam a interpretação de simbologias são mais abstratos. O modelo em questão traz importantes reflexões para o desenvolvimento de materiais instrucionais baseados em representações visuais. Por exemplo, os conceitos de geometria molecular podem ser estudados a partir de um fenômeno mais concreto, como a interação dos estudantes com a essência e sabor de diferentes substâncias (SILVA; FONSECA, 2021), progredindo para um nível mais abstrato, quando as moléculas e suas disposições espaciais são levadas em conta para justificar as propriedades físicas e químicas das substâncias. Com isso, sem se preocupar com a ordem baseada em níveis de concretude (concreto-abstrato ou abstrato-concreto), professores podem navegar pela tríade e escolher as estratégias de ensino mais apropriadas (LIN et al., 2016).

As transições que ocorrem de um nível do conhecimento químico ao outro requisitam a utilização de diferentes tipos de representações visuais. É possível representar o conhecimento por meio de modelo, gráfico, animação, vídeo, texto, figura em duas ou três dimensões. A operacionalização de representações visuais dentro dos três níveis do conhecimento químico requer a aquisição e uso do que Gilbert (2007) chamou de habilidade metavisual. Essa habilidade metacognitiva precisa ser desenvolvida por estudantes de ciências para que a compreensão dos fenômenos da natureza seja alcançada por meio de múltiplas

representações (JUSTI et al., 2009). Portanto, a prática com representações diversas favorece o desenvolvimento dessa habilidade.

As múltiplas representações compõem um conjunto de estratégias visuais com a finalidade de transpor conhecimentos relevantes de maneira menos dispendiosa (MARTINA, 2017). Cabe destacar que além da possibilidade de utilizar múltiplas representações na transição de um conhecimento mais concreto a outro mais abstrato, diferentes representações de um mesmo objeto de ensino podem ser utilizadas para explicar um mesmo conceito ou conceitos complementares (Figura 1).

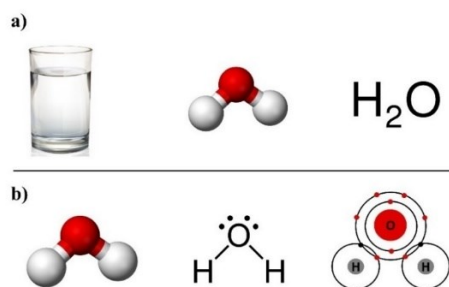


Figura 1 – a) diferentes representações da água b) diferentes representações da geometria molecular.
Fonte: Elaboração própria.

A Figura 1 mostra duas possibilidades de utilização de múltiplas representações. No primeiro caso (Figura 1a), diferentes representações são empregadas conforme o desvanecimento da concretude, em que a compreensão de um determinado conceito – representações da água nos níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico – parte de uma situação mais concreta e termina em uma mais abstrata.

No segundo caso (Figura 1b), verifica-se múltiplas representações com o objetivo de indicar a geometria angular da molécula da água. Nota-se que a partir de cada representação é possível adquirir diferentes compreensões acerca da geometria molecular da água. Dessa forma, a primeira molécula é mais simples e tende a passar o entendimento de que os átomos são esféricos, estão ligados uns aos outros e têm uma disposição espacial característica; a segunda molécula atribui aos pares de elétrons não ligantes do oxigênio a função de dimensionar a molécula para uma geometria angular; a terceira molécula, por sua vez, traz conceitos complementares no sentido de explicar a ocorrência da estabilidade da molécula a partir das ligações com compartilhamento de elétrons, além de transmitir a ideia de átomos esféricos e geometria angular.

Que problema, dentre vários possíveis, pode ser identificado na representação da Figura 1b? A terceira molécula pode levar a erros conceituais importantes, uma vez que a disposição angular da água pode ser associada erroneamente pelos estudantes à forma como os elétrons foram compartilhados na figura, o que não corresponderia à noção de repulsão eletrônica. Fato é que os especialistas (professores, pesquisadores) podem não considerar essa possibilidade de compreensão pelos estudantes porque o seu conhecimento ou competência

representacional se distancia da realidade dos estudantes. Dessa forma, uma representação pode ser tão óbvia e compreensível para um especialista, mas confusa e complexa para um estudante iniciante (GOBERT, 2005).

Podemos compreender essa noção de percepção do especialista e do iniciante a partir da noção apresentada por Martina (2017), quando categorizou processos envolvidos na aprendizagem com múltiplas representações visuais (Quadro 1). Para a autora, com treinamento, um sujeito pode alcançar a fluência visual, que lhe dará competências representacionais para a compreensão de conceitos científicos.

Quadro 1 – Visão geral dos processos envolvidos na aprendizagem com múltiplas representações visuais e competências resultantes.

| Escopo | Processo de aprendizagem representacional | Competências representacionais |
|------------------------------------|--|--------------------------------|
| Representações visuais individuais | Mediado verbalmente, processo de aprendizagem conceitual | Compreensão visual |
| | Não verbal, processo de aprendizagem perceptual | Fluência visual |
| Representações visuais múltiplas | Mediado verbalmente, processo de aprendizagem conceitual | Compreensão conexional |
| | Não verbal, processo de aprendizagem perceptual | Fluência conexional |

Fonte: Martina (2017) *apud* Silva (2018).

Segundo Martina (2017), o processo de aprendizagem representacional pode ou não pode ser mediado verbalmente. O processo verbal está associado à aprendizagem conceitual, enquanto o não verbal à aprendizagem perceptual. Quando se trata de representações visuais individuais, a competência de compreensão visual corresponde unicamente à compreensão conceitual envolvida na representação. Um estudante olhando para uma representação da molécula da água em três dimensões (representação visual individual), por exemplo, pode compreender a partir da mediação verbal (instruções em sala de aula) que a molécula de água possui um oxigênio, dois hidrogênios (compreensão visual) e uma geometria angular. Ou seja, toda vez que o estudante pensar na molécula de água, ele a imaginará em formato angular (fluência visual).

Por outro lado, quando se trata de múltiplas representações, conforme mostrado na Figura 1b, o estudante precisa passar por um processo de aquisição de conhecimentos mediados verbalmente que justifiquem as diferenças, similaridades e complementariedades dos conceitos envolvidos nas múltiplas representações. A partir do entendimento conceitual das representações e de como elas se relacionam se chega à compreensão conexional. A fluência conexional, por sua vez, é alcançada quando a aprendizagem perceptual permite fazer a transição conceitual entre as representações visuais de forma menos dispendiosa.

Martina (2017) reitera que o esforço cognitivo empreendido nas fases iniciais do desenvolvimento de competências representacionais é maior do que quando a fluência é alcançada. Isso sugere que um especialista que chegou à fluência conexional transita entre diferentes tipos de representações visuais de forma mais automática do que àquele que está aprendendo. No entanto, vale ressaltar que a fluência se dá com tempo e treino de representações variadas (WRIGHT *et al.*, 2008).

Metodologia

Conduziu-se uma pesquisa quantitativa, a partir da coleta e análise de dados empíricos de uma atividade de intervenção didática. Cinquenta e cinco estudantes – faixa etária dos 16 aos 22 anos – de um curso de graduação de uma universidade pública participaram voluntariamente da pesquisa. Separou-se aleatoriamente os estudantes em dois grupos (A e B), os quais participaram da atividade de intervenção no mesmo dia, mas em momentos diferentes. Somente os estudantes do grupo B acessaram um link no MOODLE para a instalação do aplicativo educacional de realidade aumentada, desenvolvido especialmente para este estudo. Para as análises quantitativas, utilizou-se o IBM *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS 22).

A aplicação dos instrumentos para a coleta e análise de dados ocorreu conforme as etapas a seguir:

- a) A cada estudante dos grupos A e B foi solicitado que respondessem a um pré-teste sobre geometria molecular (40 min.).
- b) A cada estudante dos grupos A e B foi entregue um mapa conceitual com lacunas a serem preenchidas (APÊNDICE Aa), conforme o comando “Desenhe a estrutura de Lewis dentro do quadrado para cada molécula”, “leia o mapa conceitual e verifique se o desenho que você fez mostra corretamente o que se diz sobre pares de elétrons ligantes e não ligantes” (20 min.).
- c) A cada estudante dos grupos A e B foi entregue um mapa conceitual com as lacunas preenchidas (APÊNDICE Ab), por meio do qual eles analisaram e corrigiram a tarefa anterior (15 min.).
- d) A cada estudante do grupo A foi entregue um mapa conceitual com moléculas 3D estáticas (APÊNDICE Ac), por meio do qual foi respondido o comando “analise cada molécula em 3D, comparando-a com a estrutura de Lewis da tarefa anterior, fazendo anotações que achar pertinente” (15 min.).
- e) A cada estudante do grupo B foi entregue um mapa conceitual com alvos de moléculas que surgiram com a tecnologia de realidade aumentada, ao apontar o smartphone (APÊNDICE Ad), por meio do qual foi respondido o comando “analise cada molécula em realidade aumentada, comparando-a com a estrutura de Lewis da tarefa anterior, fazendo anotações que achar pertinente” (15 min.).
- f) A cada estudante dos grupos A e B foi entregue um pós-teste sobre geometria molecular (30 min.).

Apresentou-se as etapas da pesquisa e enfatizou-se acerca dos objetivos, riscos e benefícios, conforme o projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) assinado pelos participantes.

Instrumentos de intervenção didática e coleta de dados

Um pré-teste (alfa de Cronbach 0,71) e pós-teste (alfa de Cronbach 0,81) sobre geometria molecular foram elaborados para analisar o desempenho dos estudantes quanto à geometria das moléculas, antes e depois da intervenção didática. A consistência interna dos testes foi adequada para as finalidades da pesquisa.

Como parte do pós-teste, conduziu-se uma tarefa prática de construção de moléculas físicas, que foi avaliada separadamente. Assim, o pós-teste foi aplicado no final das atividades para verificar: a) se houve diferença no desempenho quanto à geometria das moléculas; b) o efeito da realidade aumentada no desempenho na tarefa de construção de moléculas físicas.

Um conjunto de mapas conceituais foi elaborado para servir de instrumento da intervenção didática e coleta de dados. Considerando que todos os estudantes haviam cursado o Ensino Médio e estudado o conteúdo de geometria molecular, optou-se por intervir no nível de mediação – com materiais autoinstrucionais – para, inicialmente, promover uma revisão do conteúdo e, finalmente, verificar o impacto da instrução na percepção espacial dos estudantes.

Em conformidade com princípios de aprendizagem mediada por mapas conceituais (SILVA et al., 2020), elaborou-se – para efeito de revisão de conteúdo – um mapa conceitual com lacunas (APÊNDICE Aa) e mapa com figuras (APÊNDICES Ab, Ac). A diferença na aplicação dos instrumentos entre os grupos comparação (A) e experimental (B) consistiu em apresentar um mapa conceitual com moléculas tridimensionais estáticas para o grupo A (APÊNDICE Ac) e um mapa conceitual com moléculas tridimensionais-dinâmicas com realidade aumentada para o grupo B (APÊNDICE Ad).

Organização dos dados e métodos de análise

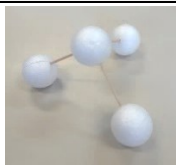

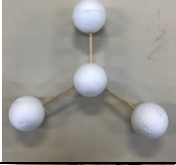
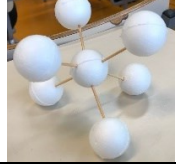
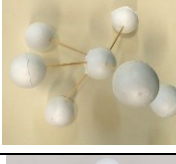
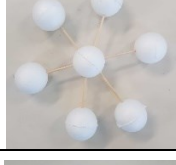
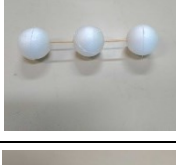
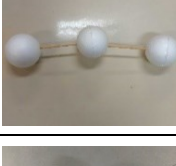
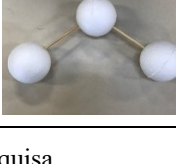
Preliminarmente, realizou-se uma análise descritiva para verificar se houve diferença no desempenho dos estudantes quanto à geometria das moléculas, a partir da comparação entre o pré-teste e pós-teste. Essa análise genérica levou em consideração todas as questões dos respectivos testes. No entanto, a avaliação dos efeitos da utilização do mapa conceitual em realidade aumentada no aprimoramento da percepção espacial dos estudantes foi conduzida por meio de uma tarefa de construção de moléculas físicas utilizando bolas de isopor e palitos de churrasco. Esta avaliação foi realizada durante o pós-teste, com base nas seguintes instruções: “Pegue 7 bolas de isopor e 8 palitos com o pesquisador. Construa as

moléculas PCl_3 e BeH_2 . Tire foto de cada uma. Desmonte-as e com o mesmo material construa a molécula SF_6 . Tire foto de cada molécula e envie as 3 fotos pelo MOODLE”.

Especialmente a tarefa supracitada foi selecionada para avaliar os efeitos da realidade aumentada por se tratar de uma estratégia concreta para inferir se o resultado da molécula construída pelos estudantes depende de outras representações visualizadas/manipuladas por eles (representação 3D estática ou em realidade aumentada). Isso porque o objetivo de aprendizagem avaliado na referida questão tem relação com a percepção espacial. E uma das formas de examinar a percepção espacial é a partir da construção de moléculas físicas como bolas de isopor e palitos de churrasco. Essa estratégia de verificação dos efeitos de representações nas construções de moléculas foi inspirada na seção de tarefas de “percepção e transferência mental de informações” da pesquisa de Ferk *et al.* (2003).

Dessa forma, avaliou-se as disposições espaciais dos átomos nas três moléculas construídas pelos estudantes, conforme os seguintes critérios de pontuação (Quadro 2):

Quadro 2 – Exemplos de moléculas construídas pelos estudantes e pontuação obtida.

| Foto | Molécula | Disposição espacial (pontuação) |
|---|----------------|---------------------------------|
|  | PCl_3 | Apropriada (2,0) |
|  | PCl_3 | Inapropriada (1,0) |
|  | PCl_3 | Incorreta (0,0) |
|  | SF_6 | Apropriada (2,0) |
|  | SF_6 | Inapropriada (1,0) |
|  | SF_6 | Incorreta (0,0) |
|  | BeH_2 | Apropriada (2,0) |
|  | BeH_2 | Inapropriada (1,0) |
|  | BeH_2 | Incorreta (0,0) |

Fonte: A pesquisa.

Para verificar se o desempenho na atividade de construção de moléculas físicas dependeu dos conhecimentos prévios dos estudantes, realizou-se uma comparação de médias (teste-t independente) entre os grupos A e B. Dessa forma, o pré-teste (conhecimentos prévios) foi tratado como possível covariável (Figura 2).

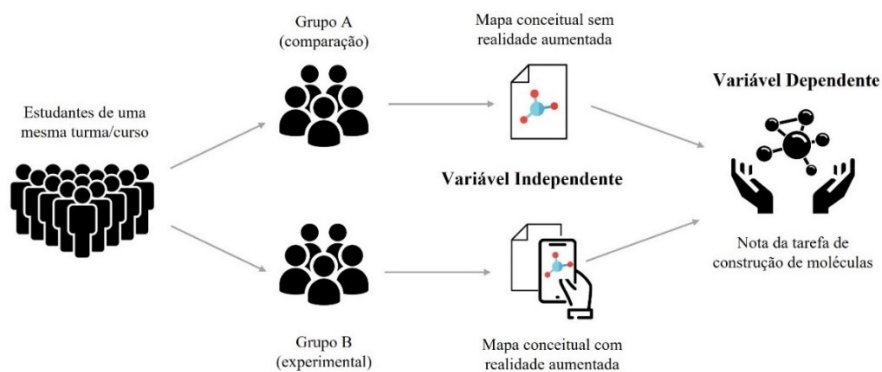


Figura 2 – Design experimental para avaliar a percepção espacial dos estudantes.

Fonte: Elaboração própria.

Quando a interferência da possível covariável (conhecimentos prévios) foi descartada, empregou-se o teste-t para analisar se houve diferença significativa entre os grupos A (sem realidade aumentada) e B (com realidade aumentada).

O desenvolvimento do aplicativo de realidade aumentada

A tecnologia de Realidade Aumentada (RA) é o processo de sobrepor imagens geradas por computador ao ambiente do mundo real. É crucial destacar que o termo RA não implica necessariamente que os objetos virtuais reproduzam fielmente a realidade. No caso do aplicativo desenvolvido, ao direcionar a câmera do celular para um dos seis alvos do mapa conceitual impresso, uma representação da molécula com a estrutura correspondente surge em 3D rotacionando “sobre” a representação 2D estática.

O mapa conceitual é um organizador gráfico da estrutura do conhecimento, em que revela conceitos e termos de ligação em forma de proposições. Essa ferramenta pode ser utilizada para representar o conhecimento a ser apreciado pelo público interessado, em uma tentativa de sintetizar informações importantes para a aprendizagem (SILVA, FONSECA, CORREIA, 2020). Portanto, o aspecto inovador da criação do aplicativo foi a integração da tecnologia de realidade aumentada a um mapa conceitual impresso, para a aprendizagem de geometria molecular por meio de múltiplas representações (2D e 3D).

A atividade pedagógica se dá por meio da interação entre o estudante portando um smartphone e um mapa conceitual impresso, contendo os alvos a serem decodificados pelo aplicativo (Figura 3).

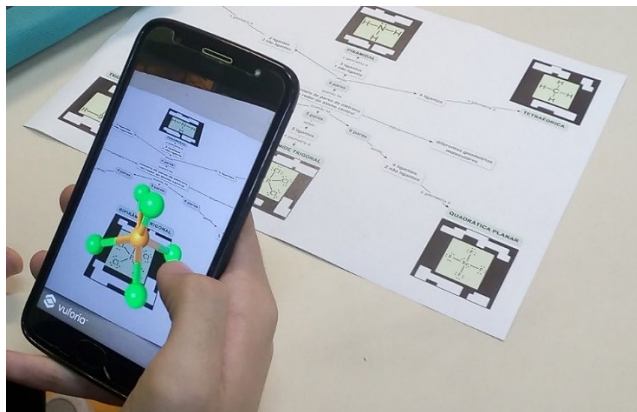


Figura 3 – Demonstração da interação do estudante com o mapa conceitual por meio de um aplicativo de realidade aumentada.

Fonte: A pesquisa.

A estrutura do aplicativo compreende recursos de aplicativos gratuitos: *Unity 3D* para o desenvolvimento do aplicativo final; *Jmol* para a exportação dos objetos (moléculas) no formato OBJ; *CmapTools* para a elaboração do mapa conceitual. Além disso, o *Vuforia* foi utilizado como mecanismo de implantação dos recursos de RA.

Um mapa conceitual sobre geometria molecular foi elaborado a partir do aplicativo *CmapTools*. A integração dos conceitos do mapa conceitual auxilia na busca por respostas da seguinte pergunta focal feita aos estudantes: quais são as características eletrônicas de diferentes geometrias moleculares? Há seis exemplos de geometrias moleculares para os estudantes explorarem as características eletrônicas e visualizarem os efeitos da repulsão eletrônica por meio de animações 3D. As figuras/representações são os próprios alvos do mecanismo de realidade aumentada e foram formatadas com padrões preto e branco distintos para efeito de captura pelo dispositivo (smartphone).

O aplicativo *Jmol* (<http://jmol.sourceforge.net/>) foi executado no *Windows* para a visualização e exportação das moléculas de água, amônia, metano, borano, pentacloreto de fósforo e tetrafluoreto de xenônio. *Jmol* é um visualizador de código aberto gratuito de estruturas moleculares, útil para estudantes, educadores e pesquisadores em química, bioquímica e outros campos que lidam com estrutura molecular.

As referidas moléculas foram exportadas no formato “.obj” e tratadas no aplicativo de desenvolvimento de games *Unity 3D*. As figuras-alvo (seis moléculas) foram registradas no *Vuforia* (<https://developer.vuforia.com/>), de onde foram exportados os acessórios (*unity package*) para o desenvolvimento do aplicativo no *Unity 3D*.

Após o desenvolvimento no *Unity 3D* (<https://unity.com/>), salvou-se o aplicativo no formato “.APK”. A Figura 4 mostra todas as moléculas que o aplicativo pode revelar.

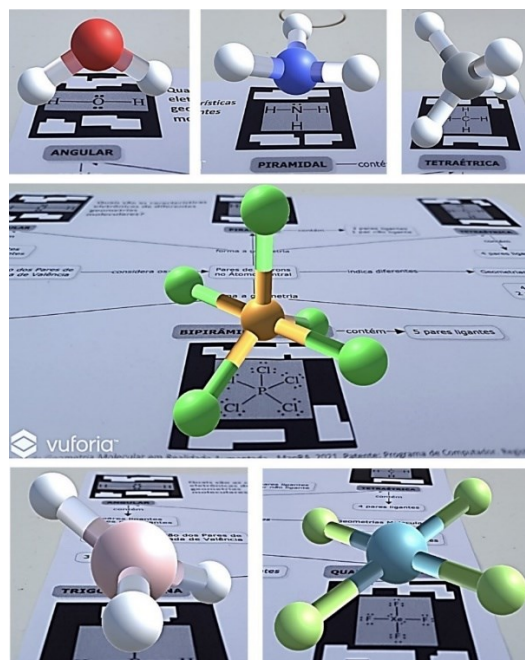


Figura 4 – Demonstração de todas as moléculas que o aplicativo de realidade aumentada pode revelar.
Fonte: Elaboração própria.

Resultados e discussão

A fim de testar a hipótese de que o grupo de estudantes que interagiu com o mapa conceitual com realidade aumentada obtém maior desempenho na tarefa de construção de moléculas físicas, comparou-se as notas do grupo A (sem realidade aumentada) e grupo B (com realidade aumentada). Inicialmente, verificou-se se os conhecimentos prévios atuaram significativamente no desempenho na tarefa de construção de moléculas físicas. Para isso, utilizou-se os resultados do pré-teste para efeito de comparação de médias entre os dois grupos (Tabela 1).

Tabela 1 – Comparação de médias entre os grupos A (sem realidade aumentada) e B (com realidade aumentada).

| | Grupos | N | Média | Desvio Padrão |
|-----------|--------|----|-------|---------------|
| Pré-teste | Sem RA | 26 | 5,13 | 2,15 |
| | Com RA | 29 | 5,34 | 1,76 |

Fonte: Elaboração própria.

Para o resultado do pré-teste, o teste-t independente mostrou que não há diferença significativa entre os grupos baseada nos conhecimentos prévios dos estudantes ($t(53) = -0,394$; $p > 0,05$). Dessa forma, conclui-se que o fator testado não interferiu no desempenho da tarefa de construção de moléculas físicas.

Os resultados do pós-teste (conhecimentos prévios de geometria molecular) revelaram que não há diferença significativa entre os dois grupos (A e B). A nota média obtida no pós-teste foi de 8,2 com desvio de $\pm 1,2$. Em geral, nota-se que o desempenho dos estudantes foi

satisfatório. Esse resultado valida a eficiência do conjunto de estratégias e recursos empregados na intervenção didática. Verifica-se uma homogeneidade nas notas, comprovando que os objetivos de aprendizagem foram alcançados. Porém, quando a atividade de construção de moléculas físicas contida no pós-teste foi avaliada separadamente, uma diferença importante entre os grupos foi observada (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação de médias entre os grupos A (sem realidade aumentada) e B (com realidade aumentada).

| | Grupos | N | Média | Desvio Padrão |
|---|--------|----|-------|---------------|
| Tarefa de Construção de Moléculas Físicas | Sem RA | 26 | 6,92 | 2,29 |
| | Com RA | 29 | 8,62 | 1,95 |

Fonte: Elaboração própria.

Em relação à tarefa de construção de moléculas físicas, o teste-t independente mostrou que há diferença significativa entre os grupos baseada na percepção espacial dos estudantes ($t(53) = -2,971$; $p < 0,05$). Dessa forma, aceita-se a hipótese de que o mapa conceitual com realidade aumentada favoreceu a percepção espacial dos estudantes do grupo B para a construção de moléculas físicas. A diferença não significativa entre os grupos A e B referente ao teste de conhecimentos prévios (pré-teste) reforça que a atividade com realidade aumentada influenciou somente no desempenho da tarefa de construção de moléculas físicas.

Mas o que levou os estudantes com realidade aumentada a ter melhor desempenho? As evidências deste estudo nos levam a inferir que há, pelo menos, três explicações que se complementam. Primeiro, o engajamento emocional é um fator crucial no processo de aprendizado. A RA cria um ambiente mais imersivo e estimulante para os estudantes, que se sentem mais envolvidos na atividade. Isso pode ser atribuído à novidade e à natureza interativa da tecnologia. Quando os alunos se sentem emocionalmente envolvidos, eles têm maior probabilidade de prestar atenção e de se dedicar ao aprendizado. Chen, Huang, Chou (2019) e Chou *et al.* (2022) também desenvolveram aplicativos de realidade aumentada com mapa conceitual para ensinar ciências e destacaram o papel motivacional da tecnologia. Na mesma linha, Chen e Liu (2020) mostraram que a utilização de realidade aumentada no ensino de química serve como uma estratégia promissora para motivar os estudantes.

Segundo, a animação presente nas moléculas em RA é um elemento que cativa os estudantes. As representações tridimensionais em movimento proporcionam uma compreensão mais profunda e intuitiva dos conceitos químicos. Isso está de acordo com os achados de Korakakis *et al.* (2009), que apontaram que animações tridimensionais são mais atraentes para os alunos. A capacidade de visualizar as moléculas em diferentes ângulos e observar suas interações dinâmicas pode facilitar a compreensão dos conceitos químicos de maneira mais eficaz.

Terceiro, a utilização da RA para apresentar moléculas tridimensionais em movimento, sobrepondo-as a representações moleculares em duas dimensões, ajuda a reduzir o efeito da atenção dividida. O efeito da atenção dividida ocorre quando as informações relevantes estão dispersas no espaço, tornando difícil para os estudantes assimilarem e processarem essas informações simultaneamente (POUW *et al.*, 2019). A RA proporciona uma integração mais coesa e contextualizada das informações, tornando o processo de aprendizado mais fluido e menos sujeito a distrações. Por exemplo, o grupo A precisou comparar as duas representações a partir de duas fontes diferentes e separadas uma da outra, o que pode ter aumentado a carga cognitiva em função da necessidade de integrar mentalmente informações de múltiplas fontes.

Vale ressaltar, no entanto, que a representação 3D estática utilizada pelo grupo A não deve ser considerada ineficaz. Korakakis *et al.* (2009) reiteram que as representações 3D estáticas também são importantes, pois dão liberdade para os estudantes decidirem quando e como interagir com elas. No caso específico do presente estudo, em se tratando de habilidades espaciais para construir moléculas físicas, as representações moleculares dinâmicas (em realidade aumentada) foram mais eficazes.

Essas três explicações se complementam e mostram como a RA pode ser uma ferramenta valiosa no ensino de química, melhorando o engajamento dos alunos, facilitando a compreensão dos conceitos e otimizando a maneira como as informações são apresentadas e processadas. Portanto, a integração da RA no ensino de química tem o potencial de melhorar significativamente a qualidade da educação nessa disciplina.

A elaboração, implementação e avaliação da intervenção didática do presente estudo estão alinhadas com os princípios da aprendizagem mediada por mapas conceituais (SILVA *et al.*, 2020), concretude (LIN *et al.*, 2016) e múltiplas representações (MARTINA, 2017).

O gerenciamento da carga extrínseca associada à instrução se mostrou eficaz e evitou a sobrecarga cognitiva dos estudantes durante as atividades. A revisão do conteúdo de geometria molecular mediada por mapas conceituais com lacunas e com figuras foi satisfatória e contou estrategicamente com os efeitos da imaginação (LEAHY; SWELLER, 2008) e do exemplo trabalhado (KALYUGA *et al.*, 2003). No primeiro caso, mapas com lacunas foram pensados para que os estudantes pudessem imaginar e recuperar informações da memória de longo prazo para desenhar as estruturas de Lewis. Em seguida, outro mapa conceitual contendo as respostas foi disponibilizado para que os estudantes entendessem o processo de construção das estruturas de Lewis e pudessem aprender por meio de uma espécie de exemplo trabalhado. Desse modo, o bom desempenho dos estudantes comprova que as estratégias teórico-metodológicas empregadas na intervenção didática foram significativas.

O uso de diferentes representações moleculares, como a estrutura de Lewis e modelos de bolas e varetas, partiu da necessidade de trabalhar com diferentes níveis de concretude. A química lida com fenômenos que ocorrem em escalas macroscópicas, simbólicas e submicroscópica (LIN et al., 2016). Portanto, oferecer aos estudantes uma variedade de representações ajuda a conectá-los a esses diferentes níveis de realidade química. A estrutura de Lewis, por exemplo, é uma representação simbólica que ajuda os estudantes a compreenderem a distribuição de elétrons, enquanto modelos de bolas e varetas proporcionam uma visão tridimensional das moléculas.

A abordagem de usar múltiplas representações moleculares permite que os estudantes transitem entre diferentes formas de visualização. Isso é fundamental para o desenvolvimento de competências representacionais, que vão desde a compreensão visual até a fluência conexional (MARTINA, 2017). Ao trabalhar com várias representações, os alunos aprendem a traduzir informações de uma forma para outra, relacionando conceitos químicos de maneira mais completa. Essa habilidade de transitar entre representações fortalece a compreensão conceitual e a capacidade de comunicar eficazmente ideias químicas complexas.

Considerações finais

O resultado positivo da intervenção didática mostra que o conjunto de estratégias aponta para a promoção do desenvolvimento de competências representacionais, principalmente se o recurso de realidade aumentada for empregado. Aceitou-se a hipótese de que o mapa conceitual com moléculas em realidade aumentada favoreceu a percepção espacial dos estudantes do grupo B para a construção de moléculas físicas tridimensionais.

Em suma, os resultados sugerem que o desempenho superior do grupo B pode ter sido influenciado por fatores emocionais e de atenção, além da interação com as moléculas em movimento na realidade aumentada, embora essas suposições não tenham sido diretamente comprovadas pela pesquisa principal. É importante destacar que, devido à necessidade de treinamento constante, não se pode precisar o desenvolvimento de competências representacionais neste estudo, mas revelar indícios da contribuição da estratégia conduzida para o aumento da percepção de moléculas tridimensionais e, conseqüentemente, estágios iniciais do desenvolvimento de habilidades espaciais. Ressalta-se que o foco da presente pesquisa foi explorar a percepção espacial de moléculas estáticas e em movimento (realidade aumentada) enquanto possível lacuna da área de ensino de geometria molecular.

Por fim, a integração do recurso de realidade aumentada ao mapa conceitual revelou uma vantagem sobre o mapa conceitual com representações moleculares estáticas. Embora o desempenho em termos conceituais tenha sido satisfatório em ambos os grupos, o grupo B transferiu os conhecimentos adquiridos a partir da manipulação de moléculas com o aplicativo

de RA com maior precisão durante a atividade de construção de moléculas físicas. Com isso, o produto educacional se torna um recurso potencialmente significativo para auxiliar na conceitualização (mapa conceitual) e desenvolvimento de habilidades espaciais (representação molecular 3D dinâmica).

Agradecimento

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas.

Referências

- CHEN, C. H.; HUANG, C. Y.; CHOU, Y. Y. Effects of augmented reality-based multidimensional concept maps on students' learning achievement, motivation and acceptance. *Univ Access Inf Soc*, v. 18, p. 257-268, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0595-z>
- CHEN, S.; LIU, S. Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, v. 111, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106418>
- CHOU, Y. Y.; WU, P. F.; HUANG, C. Y. et al. Effect of digital learning using augmented reality with multidimensional concept map in elementary science course. *Asia-Pacific Edu Res*, v. 31, p. 383-393, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40299-021-00580-y>
- EILAM, B.; GILBERT, J. K. (Eds.). *Science teachers' use of visual representations*. Springer International Publishing, New York, 2014.
- FERK, V.; VRTACNIK, M.; BLEJEC, A.; GRIL, A. Students' understanding of molecular structure representations. *International Journal of Science Education*, v. 25, n. 10, p. 1227-1245, 2003. DOI: 10.1080/0950069022000038231
- GILBERT, J. K. Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In: GILBERT, J. K. (Ed.). *Visualization in science education*. p. 9-27. Dordrecht: Springer, 2007.
- GOBERT, J. D. Leveraging technology and cognitive theory on visualization to promote students' science. In: GILBERT, J. K. (Ed.). *Visualization in science education*. V. 1, p. 73-90. Dordrecht: Springer, 2005.
- JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching. *The Forum*, v. 70, n. 9, 1993.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K.; FERREIRA, P. F. M. The application of a 'model of modeling' to illustrate the importance of metavisualisation in respect of the three types of representation. In: GILBERT, J. K.; TREAGUST, D. F. (Eds.). *Multiple representations in chemical education*. p. 285-307. Dordrecht: Springer, 2009.
- KALYUGA, S.; AYRES, P.; CHANDLER, P.; SWELLER, J. The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, p. 23-31, 2003. DOI: https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_4

KORAKAKIS, G.; PAVLATOU, E. A.; PALLYVOS, J. A.; SPYRELLIS, N. 3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece. *Computers & Education*, v. 52, n. 2, 2009, p. 390-401, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.09.011>

KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students becoming chemists: developing representational competence. In: GILBERT, J. (Ed.). *Visualization in Science Education*, p. 121-145, Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2005.

LEAHY, W.; SWELLER, J. The imagination effect increases with an increased intrinsic cognitive load. *Applied Cognitive Psychology*, v. 22, n. 2, p. 273-283, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1002/acp.1373>

LIN, Y. I.; SON, J. Y.; RUDD II, J. A. Asymmetric translation between multiple representations in chemistry. *International Journal of Science Education*, v. 38, n. 4, 644-662, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1144945>

MARSON, G. A.; TORRES, B. B. Fostering multirepresentational levels of chemical concepts: a framework to develop educational software. *J. Chem. Educ.*, v. 88, n. 12, p. 1616-1622, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed100819u>

MARTINA, A. R. Supporting student's learning with multiple visual representations. In: HORVATH, J. C.; LODGE, J. M.; HATTIE, J. (Eds). *From the laboratory to the classroom: translating science of learning for teachers*. Cap. 9. 1ed. New York: Routledge, 2017.

POUW, W. ROP, G.; KONING, B.; PAAS, F. The cognitive basis for the split-attention effect. *Journal of Experimental Psychology-general*, v. 148, n. 11, p. 2058-2075, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1037/xge0000578>

SILVA, K. S. *A neurociência cognitiva como base da aprendizagem de geometria molecular: um estudo sobre atributos do funcionamento cerebral relacionados à memória de longo prazo*. 2018. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

SILVA, K. S.; FONSECA, L. S. Neurociência e educação: estratégias multissensoriais para a aprendizagem de geometria molecular. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 26, n. 01, p. 01-26, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.22600/1518-795.ienci2021v26n1p01>

SILVA, K. S.; FONSECA, L. S.; CORREIA, P. R. M. Abordagem neurocognitiva de processos atencionais envolvidos na aprendizagem mediada por mapas conceituais. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 247-268, 2020. DOI: 10.3895/rbect.v13n2.9421

WRIGHT, R.; THOMPSON, W. L.; GANIS, G.; NEWCOMBE, N. S.; KOSSLYN, S. M. Training generalized spatial skills, *Psychonomic Bulletin & Review*, v. 15, n. 4, p. 763-771, 2008.

SOBRE OS AUTORES

KLEYFTON SOARES DA SILVA. Doutorando em Ensino de Ciências na Universidade de São Paulo (USP), com período sanduíche na Universidade de Surrey (Inglaterra). Professor de Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas (Campus Penedo), Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal de Sergipe

(UFS), Licenciado em Química pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL) com período de graduação sanduíche na atual Atlantic Technological University Sligo (ATU, Irlanda). Conduz pesquisas em Ensino de Química na perspectiva teórica da Psicologia Educacional e Neurociência Cognitiva.

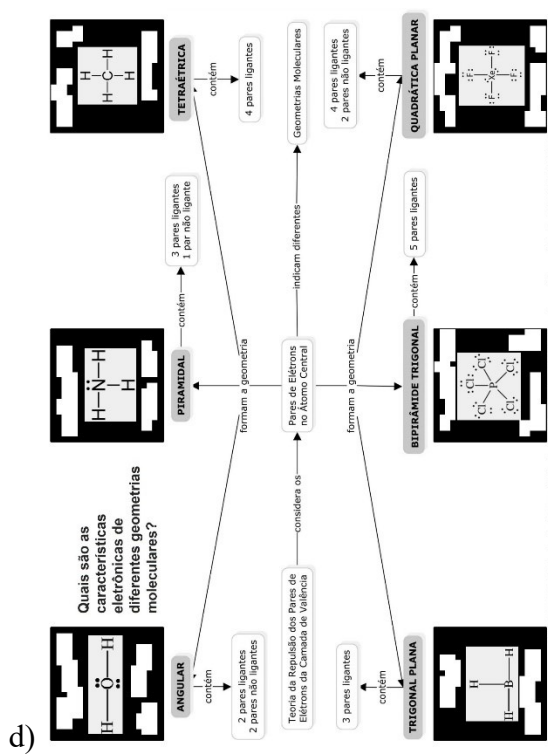
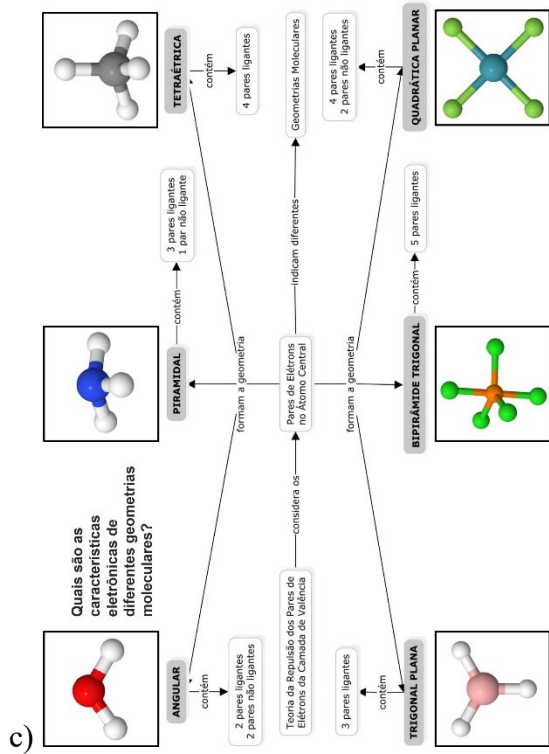
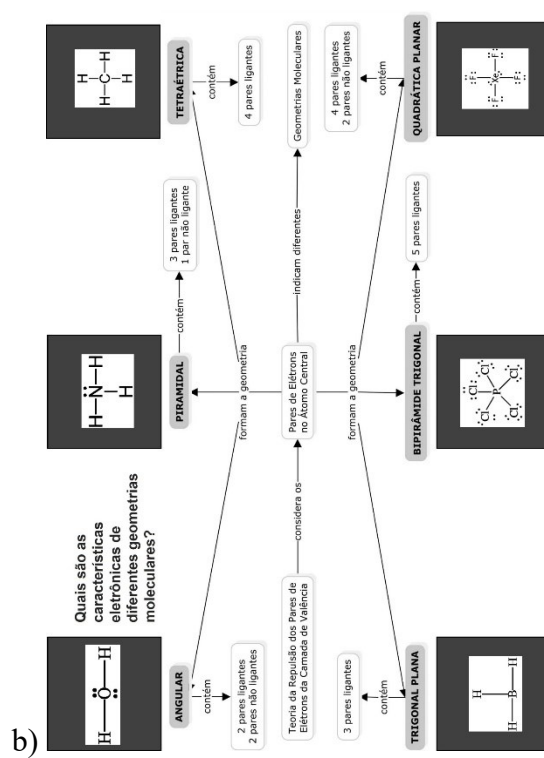
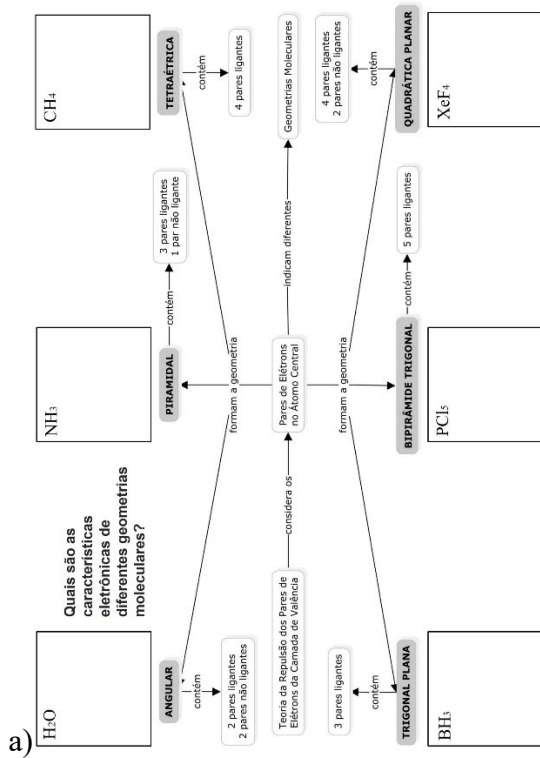
PAULO ROGERIO MIRANDA CORREIA. Professor doutor de Química da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH/USP Leste), com livre docência na área de Didática. Coordena o Grupo de Pesquisa Mapas Conceituais e é orientador credenciado no Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP desde 2005. Foi o presidente da Sexta Conferência Internacional sobre Mapeamento Conceitual (CMC-2014), organizado em parceria com o *Institute for Human and Machine Cognition* (IHMC). Atualmente, sua linha de pesquisa está relacionada com o uso do mapeamento conceitual como ferramenta para a gestão da informação e do conhecimento.

Recebido: 29 de novembro de 2022.

Revisado: 01 de setembro de 2023.

Aceito: 19 de outubro de 2023.

APÊNDICE A – Aa) Mapa com lacunas, Ab) Mapa com lacunas preenchidas, Ac) Mapa com moléculas estáticas, Ad) Mapa com alvo da realidade aumentada



SILVA, C.S.; CORREIA, A.F.M. Mapa com alvo da realidade aumentada em moléculas estéticas. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-3011-2017-0011>.