



Revista
Educar Mais

Tecnologias para o ensino de orbitais atômicos: uma revisão sistemática da literatura

Technologies for teaching atomic orbitals: a systematic review of the literature

Tecnologías para la enseñanza de orbitales atómicos: una revisión sistemática de la literatura

Glaylton Batista de Almeida¹



• Luciana de Lima²



• Edgar Marçal

de Barros Filho³



RESUMO

Muitas pesquisas em educação na área de Química relatam da problemática que envolve a aprendizagem nessa disciplina, o entrave se torna ainda mais recorrente quando os assuntos envolvem fenômenos abstratos, como é o caso dos Orbitais Atômicos (OA), que exigem do aluno uma compreensão matemática e a capacidade de visualização espacial de objetos em três dimensões. Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo realizar uma Revisão Sistema da Literatura (RSL) em quatro base de dados internacionais sobre tecnologias propostas para o ensino de OA, dessa forma, pretende-se fornecer uma visão geral sobre essas ferramentas, descrevendo suas possíveis vantagens e problemáticas, além de buscar suas relações com teorias pedagógicas. Os resultados mostram que a Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV) têm sido recorrente de estudos e aplicações na disciplina de Química, e podem ser configuradas como potenciais ferramentas aliadas no processo de ensino dos OA.

Palavras-chave: Tecnologias; Ensino; Orbitais Atômicos; Revisão Sistemática.

ABSTRACT

Many researches in education in the area of Chemistry report the problem that involves learning in this discipline, the obstacle becomes even more recurrent when the subjects involve abstract phenomena, as is the case of Atomic Orbitals (AO), which require a mathematical understanding from the student. and the ability to spatially visualize objects in three dimensions. In this context, this article aims to carry out a Systematic Review of the Literature (SRL) in four international databases on technologies proposed for teaching AO, in this way, it is intended to provide an overview of these tools, describing their possible advantages and problems, in addition to seeking their relationship with pedagogical theories. The results show that Augmented (AR) and Virtual Reality (VR) have been recurrent in studies and applications in the discipline of Chemistry, and can be configured as powerful allied tools in the teaching process of AO.

Keywords: Technologies; Teaching; Atomic Orbitals; Systematic Review.

RESUMEN

Muchas investigaciones en educación en el área de la Química reportan sobre el problema que involucra el aprendizaje en esta disciplina, el obstáculo se vuelve aún más recurrente cuando las asignaturas involucran

¹ Licenciado em Química, Especialista em Ensino de Ciências da Natureza e Matemática e Mestrando em Tecnologia Educacional na linha de Inovações e Práticas em Tecnologia Educacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE – Brasil. E-mail: glaylton.almeida2@gmail.com

² Doutora em Educação e Professora da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE – Brasil. E-mail: luciana@virtual.ufc.br

³ Doutor em Ciência da Computação e Coordenador do Mestrado Profissional em Tecnologia Educacional da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE – Brasil. E-mail: edgar@virtual.ufc.br

fenómenos abstractos, como es el caso de los Orbitales Atómicos (OA), que requieren de una formación matemática. comprensión por parte del alumno y la capacidad de visualización espacial de objetos en tres dimensiones. Dado este contexto, este artículo tiene como objetivo realizar una Revisión del Sistema de Literatura (RSL) en cuatro bases de datos internacionales sobre tecnologías propuestas para la enseñanza de AA, así, se pretende brindar una visión general de estas herramientas, describiendo sus posibles ventajas y problemas, además a buscar sus relaciones con las teorías pedagógicas. Los resultados muestran que la Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV) han sido recurrentes en los estudios y aplicaciones en la disciplina Química, y pueden configurarse como potenciales herramientas aliadas en el proceso de enseñanza de los OA.

Palabras clave: Tecnologías; Enseñando; Orbitales Atómicos; Revisión Sistemática.

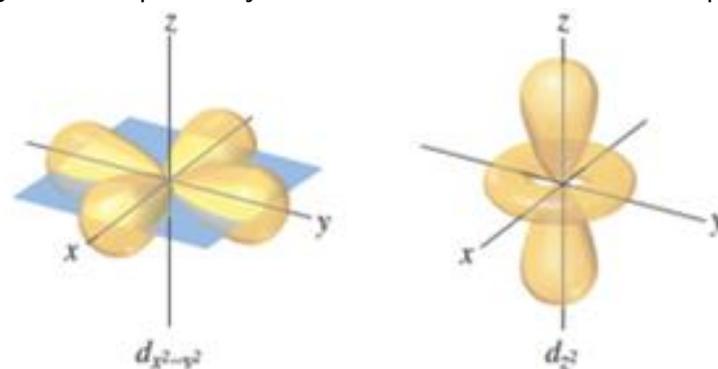
1. INTRODUÇÃO

De acordo com Lima (2012), muitos estudos na área de ensino de Química relatam dificuldades apresentadas por professores em tornar a aprendizagem nessa disciplina mais efetiva. Os entraves vão desde a interpretação de fenômenos à construção de modelos químicos. Além disso, a compreensão dessa ciência perpassa por três níveis de conhecimento específicos, o macroscópico, que são os fenômenos observáveis (perceptíveis), o sub microscópico, que é o nível em escala molecular e o simbólico sendo a linguagem usada para representar as espécies químicas (JOHNSTONE, 1993).

Um assunto que transita nessas três áreas e é de difícil assimilação pelos discentes são os Orbitais Atômicos (OA), que segundo Brown, LeMay e Bursten (2005) são uma solução da equação de Schrödinger que descrevem uma região espacial específica com probabilidade de densidade eletrônica. O entendimento dos OA é essencial para assimilação de diversos fenômenos químicos, como a compreensão da estrutura molecular.

Trindade, Kirner e Fiolhais (2004) após uma análise sobre várias pesquisas com estudantes do Ensino Médio e graduandos, no trabalho "Orbitário: Exploração de Orbitais Hidrogenóides com Realidade Aumentada", citam a utilização de modelos bidimensionais (2D) nos livros didáticos como uma das dificuldades impostas por esse assunto, visto que, é necessário que o aluno possua uma boa capacidade de visualização espacial para compreender as disposições em três dimensões (3D) desses modelos (Figura 1).

Figura 1 – Representação bidimensional de dois Orbitais do tipo d



Fonte: adaptado de Brown *et al.* (2016, p.245).

Muitos estudiosos (LIMA, 2012; BOLSTAD; BUNTTING, 2013; BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015; QUEIROZ; OLIVEIRA; REZENDE, 2015) compactuam com a ideia de que as Tecnologias Digitais

da Informação e Comunicação (TDIC) podem ser uma grande aliada no processo de ensino e aprendizagem, já que possuem diversas utilidades, como simulações e animações em 3D, que tornam os fenômenos abstratos mais perceptíveis, por meio do uso de *softwares* educativos, laboratórios e redes de colaboração virtuais, além da possibilidade de informações atualizadas e de fácil acesso pelo uso prático da internet, podendo dessa forma, tornar as aulas mais dinâmicas e atraentes para os alunos.

Diante do exposto, este artigo tem como objetivo, a realização de uma revisão sistemática da literatura sobre a utilização de tecnologias como ferramentas de ensino do tópico OA em contextos e níveis educacionais distintos. Dessa forma, pretende-se sistematizar possíveis ferramentas tecnológicas a serem usadas no ensino desse tópico em sala de aula, mostrando seus benefícios e suas limitações ao serem utilizadas como recurso pedagógico.

O restante do artigo está organizado em outras quatro seções: sendo que na seção seguinte (seção dois) é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento da revisão; na terceira são expostos os principais resultados obtidos; na quarta seção discutimos as principais contribuições do trabalho, e na última, apresentamos as conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

O protocolo utilizado é baseado na proposta de Kitcheman e Charters (2007) para revisões sistemáticas. Dessa forma, o trabalho possui um planejamento inicial no qual é identificado a importância da revisão, sendo elaboradas as questões de pesquisa. Em seguida, na etapa de condução, é feita a busca e seleção dos artigos que serão analisados e interpretados, e por fim são realizados o relatório e a escrita do artigo.

Esta RSL considerou apenas a busca automática, dessa maneira, as questões de pesquisa foram elaboradas de modo a fornecer uma visão geral sobre as tecnologias que têm sido usadas para ensinar OA na educação de nível básico e/ou superior, apontando possíveis vantagens e desvantagens de sua implementação. Além disso, buscou-se compreender se as ferramentas encontradas possuem caráter teórico-pedagógico em sua estrutura, assim como de que forma são realizadas as avaliações destas. As questões de pesquisa e suas motivações estão representadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Questões de pesquisa

ID	Questão de Pesquisa	Motivação
QP1	Que tecnologias têm sido usadas para ensinar Orbitais Atômicos?	Descobrir possíveis ferramentas utilizadas para ensinar o assunto.
QP2	Quais as vantagens dessas abordagens?	Detectar se as ferramentas encontradas proporcionam benefícios na aprendizagem.
QP3	Quais as dificuldades/problemática ao utilizar essas ferramentas?	Relatar os possíveis problemas envolvidos no que diz respeito ao uso dessas ferramentas.
QP4	Os autores utilizam alguma abordagem pedagógica baseada em alguma teoria de aprendizagem?	Verificar se os autores se baseiam em teorias pedagógicas ao elaborar essas ferramentas.
QP5	Quais estratégias os autores usaram para medir a eficácia do aprendizado nesses trabalhos?	Identificar os métodos utilizados pelos autores para avaliar a eficácia de seus produtos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Após a elaboração das questões de pesquisa, foram testadas algumas *strings* de busca com o intuito de fazer um refinamento até a escolha da *string* final, possibilitando um levantamento mais preciso sobre a temática abordada de acordo com Kitcheman e Charters (2007). Para a busca do material bibliográfico foram utilizadas as bases de dados de fontes relevantes nas áreas de tecnologia e ensino de Química: *Science Direct*, *SpringerLink*, *ACS Publications* e *Royal Society of Chemistry*. A *string* utilizada foi composta pelos termos "*Teaching*", "*Atomic Orbitals*" e "*Technology*" unidos pelo operador booleano "AND".

Depois de uma busca inicial foi verificado se os trabalhos estavam de acordo com o escopo da pesquisa, sendo incluídos os trabalhos que atendessem os seguintes requisitos: ser artigo científico escrito no idioma inglês, publicado entre os anos de 2015 a 2022. Em seguida os artigos restantes passaram por uma filtragem aplicando-se os critérios de exclusão (Quadro 2).

Quadro 2 – Critérios de Inclusão e Exclusão

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Período 2015 - 2022	Artigos de Revisão
Artigos Científicos	Artigos sem contexto educacional
Idioma Inglês	Artigos fora do contexto da revisão

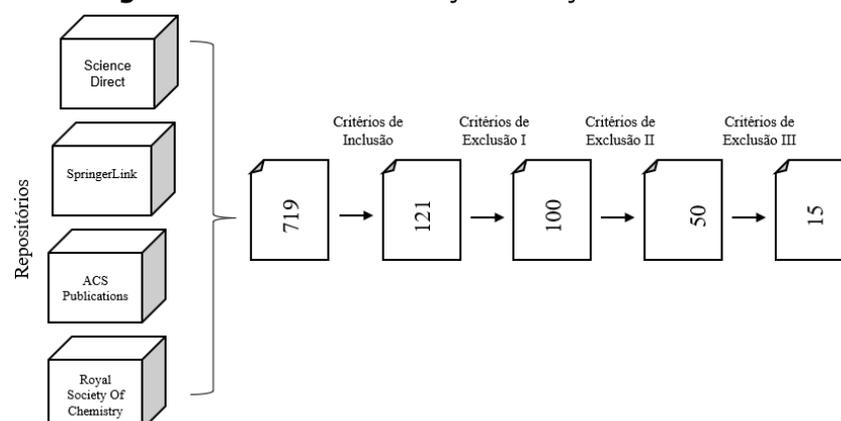
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A partir dos critérios de exclusão, pretendeu-se aproximar os resultados da pesquisa ao escopo do trabalho, dessa forma, artigos de revisão foram excluídos, visto que, estes abrangiam pesquisas que vão além do período de busca definido para o trabalho. Artigos que abordavam a temática, mas sem finalidade educacional também foram excluídos, além de trabalhos que apresentavam discrepância com o contexto da pesquisa, não apresentando ferramentas para o ensino dos OA.

3. RESULTADOS

A primeira busca nas bibliotecas digitais utilizando o período indicado, retornou um total de 719 trabalhos, que passaram por uma filtragem aplicando-se os demais critérios de inclusão, restando 121 artigos que posteriormente foram analisados fazendo-se a leitura de seus títulos e resumos sendo submetidos aos critérios de exclusão I, II e III, restando ao final 15 artigos. O processo de extração e seleção dos trabalhos é representado no organograma da Figura 2, e os trabalhos selecionados, com o identificador (ID) e a respectiva base de dados do qual foi extraído no Quadro 3.

Figura 2 – Processo de extração e seleção dos trabalhos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quadro 3 – Artigos selecionados e suas respectivas bases de dados

ID	Título do artigo	Base de dados
A01	Developing a Virtual Reality Approach toward a Better Understanding of Coordination Chemistry and Molecular Orbitals	ACS Publications
A02	Development and Evaluation of the H NMR MolecularAR Application	ACS Publications
A03	Exploring Do-It-Yourself Approaches in Computational Quantum Chemistry: The Pedagogical Benefits of the Classical Boys Algorithm	ACS Publications
A04	From Abstract to Manipulatable The Hybridization Explorer, A Digital Interactive for Studying Orbitals	ACS Publications
A05	Illustrating Concepts in Physical Organic Chemistry with 3D Printed Orbitals	ACS Publications
A06	Introducing Atomic Structure to First-Year Undergraduate Chemistry Students with an Immersive Virtual Reality Experience	ACS Publications
A07	Luscus: molecular viewer and editor for MOLCAS	SpringerLink
A08	MoleculARweb: A Web Site for Chemistry and Structural Biology Education through Interactive Augmented Reality out of the Box in Commodity Devices	ACS Publications
A09	Profiling the combinations of multiple representations used in large-class teaching: pathways to inclusive practices	Royal Society of Chemistry
A10	Stereoisomers, Not Stereo Enigmas: A Stereochemistry Escape Activity Incorporating Augmented and Immersive Virtual Reality	ACS Publications
A11	Structural Chemistry 2.0: Combining Augmented Reality and 3D Online Models	ACS Publications
A12	Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education	SpringerLink
A13	Games for the Inorganic Chemistry Classroom	ACS Publications
A14	Online Orbital Explorer and BingOrbital Game for Inquiry-Based Activities	ACS Publications
A15	Inquiry-Based Activities and Games That Engage Students in Learning Atomic Orbitals	ACS Publications

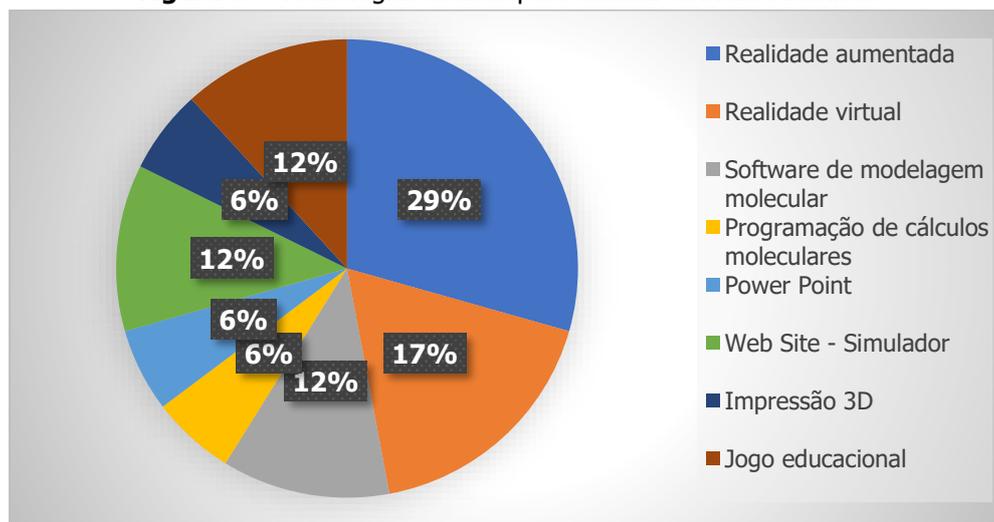
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Após a seleção dos trabalhos, iniciou-se o processo de leitura e análise destes, com o intuito de responder às questões de pesquisa elaboradas inicialmente. A análise e discussão desses resultados são abordadas nas subseções seguintes.

QP1 - Quais tecnologias têm sido usadas para ensinar Orbitais Atômicos?

A Figura 3 apresenta um gráfico com as tecnologias usadas para ensinar o tópico OA encontradas nos 15 trabalhos selecionados, vale ressaltar que alguns artigos descreveram mais de uma ferramenta ao longo de seus textos, repercutindo no quantitativo descrito.

Figura 3 – Tecnologias usadas para ensinar Orbitais Atômicos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

QP2 - Quais as vantagens dessas abordagens?

As vantagens elencadas pelos autores nos estudos selecionados estão listadas no Quadro 4.

Quadro 4 – tecnologia e suas respectivas vantagens

Realidade Virtual	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora da compreensão de conceitos; • Visualização e interação com objetos que não são vistos no cotidiano; • Potencializa a experiência de aprendizagem; • Ajuda os alunos conectarem o mundo real das substâncias químicas ao mundo submicroscópico e este último a linguagem representacional da Química; • Desperta interesse e curiosidade; • Os alunos podem fazer conexões profundas e duradouras dentro de sua base de conhecimento.
Realidade Aumentada	<ul style="list-style-type: none"> • Visualização das estruturas em 3D é muito útil; • Forma mais interativa de comunicar o conhecimento; • Manipulação de objetos; • Engajamento e entusiasmo; • Maior confiança e competência; • Fornece um aprendizado individual e aprimorado; • Uma compreensão mais profunda de conceitos complexos.
Programação de cálculos moleculares	<ul style="list-style-type: none"> • Permite uma otimização de geometria molecular; • Realiza cálculo de propriedades das moléculas; • Alunos mais reflexivos.
Web Site – Simulador	<ul style="list-style-type: none"> • Melhora o engajamento dos alunos; • Abordagem divertida e imersiva; • Visualização e manipulação do abstrato; • Aumento no nível de confiança dos alunos ao responderem questões referentes ao tema.
Impressão 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Potencializa a ilustração de conceitos.

<i>Software</i> de modelagem molecular	<ul style="list-style-type: none"> Melhora a compreensão dos alunos em conceitos complexos; Facilita a capacidade de visualização espacial dos alunos.
Power Point	<ul style="list-style-type: none"> Apoio no desenvolvimento de modelos mentais de entidades que são muito pequenas de serem vistas.
Jogo educacional	<ul style="list-style-type: none"> Engajam, motivam e estimulam os estudantes no processo de aprendizagem

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

QP3 - Quais as dificuldades/problemática ao utilizar essas ferramentas?

No Quadro 5 são listados os possíveis entraves relacionados a aplicação das tecnologias dispostas nos artigos selecionados.

Quadro 5 – tecnologia e suas problemáticas

Realidade Virtual	<ul style="list-style-type: none"> Recursos potencialmente caros; Facilitadores do processo devem despender esforço e tempo consideráveis.
Realidade Aumentada	<ul style="list-style-type: none"> Problemas com o <i>target/marcador</i> (imagens no mundo real que servem de referência para as aplicações da RA).
Programação de cálculos moleculares	<ul style="list-style-type: none"> Os cálculos gerados são relativamente mais lentos do que de <i>softwares</i> prontos.
Web Site – Explorador molecular interativo	<ul style="list-style-type: none"> Não informado.
Impressão 3D	<ul style="list-style-type: none"> Não informado.
<i>Software</i> de modelagem molecular	<ul style="list-style-type: none"> Necessário um computador com bom desempenho.
<i>Power Point</i>	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade em interpretar representações individuais; Influências não intencionais durante o aprendizado a partir do design inerente de representações individuais.
<i>Jogo educacional</i>	<ul style="list-style-type: none"> Não informado

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

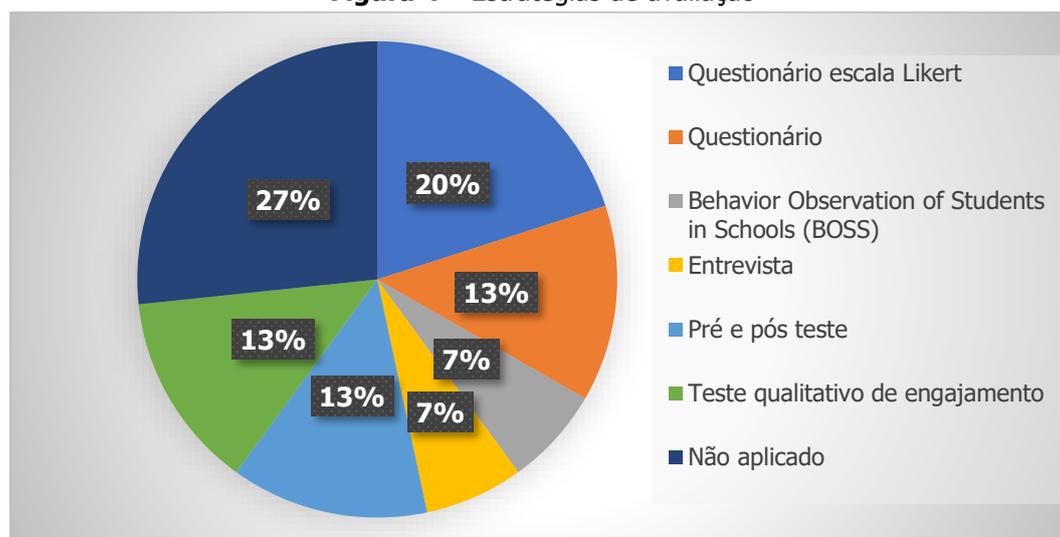
QP4 - Os autores utilizam alguma abordagem pedagógica baseada em alguma teoria de aprendizagem?

Ao verificar se os trabalhos analisados foram desenvolvidos utilizando algum embasamento pedagógico, constatou-se que apenas 20% dos artigos faziam referência a alguma teoria pedagógica. Os artigos A04, A09 e A10, abordam, respectivamente, as seguintes teorias pedagógicas: Construtivismo de Bruner, Teoria da Variação de Bussey e Taxonomia de Bloom.

QP5 - Quais estratégias os autores usaram para medir a eficácia do aprendizado nesses trabalhos?

Na Figura 4 são indicados os métodos pelos quais os autores avaliaram os recursos apresentados. Dessa forma, é possível verificar que 27% dos trabalhos revisados não avaliaram a ferramenta tecnológica que apresentaram. Dos 73% restantes, 46% utilizaram algum tipo de questionário quantitativo e os outros 27% realizaram avaliações do tipo qualitativa, de forma a verificar o nível de engajamento dos alunos.

Figura 4 – Estratégias de avaliação



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

4. DISCUSSÃO

A partir deste estudo foi possível perceber que as tecnologias mais utilizadas para ensinar o tema OA foi a RA, com presença em 29% dos trabalhos selecionados, seguida por RV, presente em 17% destes artigos. De acordo com Kirner e Siscoutto (2007) a RA é uma tecnologia capaz de adicionar objetos virtuais ao mundo real, assim o usuário tem a sensação que os dois espaços coexistem, já à RV é um ambiente criado por uma máquina em que há uma imersão do usuário em um espaço tridimensional com comandos a partir de dispositivos multissensoriais em tempo real.

Para Sá Filho e Dias (2019), essas tecnologias podem ser configuradas como um recurso educacional, visto que, podem simular situações que muitas vezes não são possíveis de serem realizadas em sala de aula, podendo dessa forma, serem utilizados nas aulas de Química, tendo em vista que em muitos assuntos são trabalhos modelos representacionais de fenômenos ou particularidades abstratas desta ciência.

Ainda com relação a QP1, outra ferramenta que apareceu em mais de um trabalho foram os *softwares* de modelagem molecular. Além disso, encontraram-se outras tecnologias, sendo elas: apresentação de *Power Point*, ferramenta *Web*, algoritmo para cálculos moleculares, impressão de objetos em 3D e jogos didáticos.

Ao analisar os achados da QP1 é possível concluir que a grande maioria das ferramentas encontradas se destinam a tornar os objetos de estudo menos abstratos e mais perceptíveis, visto que, a construção interna construída a partir da visualização de representações físicas é fundamental para o entendimento de conceitos abstratos da Química (GILBERT; REINER; NAKHLEH, 2008). Além disso, de acordo com Sebata (2006), apropriar-se da linguagem visual em Química é muito importante para que se possa compreender fenômenos e modelos representativos em Química.

Muitos autores relatam vantagens ao se aplicarem essas ferramentas em sala de aula, com destaque para a visualização e manipulação de objetos abstratos, que são formas de amenizar entraves na compreensão da disciplina de Química, como as mencionadas no estudo de Taber (2002), referentes às dificuldades dos alunos em construir conceitos relacionados aos orbitais, ou no trabalho de Copolo e Hounshell (1995), que mencionam que os entraves de alunos do ensino médio e superior em

conceitos abstratos de química estão relacionados com a necessidade de manipulação de modelos mentais, que segundo Freitas Filho *et al.* (2009) “são representações práticas de parte da realidade. São como modelos em pequena escala, internos (na mente), os quais são usados para antecipar eventos, entender como as coisas funcionam, explicar o mundo etc”. Outras vantagens em destaque são o despertar da curiosidade, motivação e interesse dos alunos quando se utilizam essas ferramentas tecnológicas.

Ao se tratar das possíveis problemáticas que envolvem a aplicação das tecnologias encontradas (QP3), é possível verificar um número bem menor em relação as vantagens detalhadas na QP2, o que pode indicar que essas ferramentas podem ser, de fato, úteis ao ensino. É válido destacar também que apesar de alguns trabalhos não mencionarem problemas não quer dizer que eles não existam.

Dentre as dificuldades destaca-se, algumas vezes, a necessidade de um computador com um bom desempenho para executar algumas tarefas dos *softwares* mencionados. Os recursos para a aquisição e manutenção da aplicação de RV podem ser um pouco elevados, como destacam Kirner e Siscoutto (2007), essa tecnologia necessita de periféricos especiais como, capacetes, luvas, óculos entre outros, para que a imersão do usuário ocorra de forma mais efetiva.

Outra problemática diz respeito aos marcadores, que são as imagens impressas lidas por uma câmera e reconhecidas por um aplicativo, que retornam a cena (real) a qual a câmera foi apontada uma imagem tridimensional construída previamente (GUIMARÃES; GNECCO; DAMAZIO, 2007). Esses marcadores podem apresentar falhas no reconhecimento pelos *softwares* de RA, muitas vezes por uma impressão de baixa qualidade ou pela iluminação no ambiente.

Outra discussão que se pretende fomentar é quanto ao processo de construção dessas ferramentas tecnológicas, dos quinze artigos apenas 20% utilizaram alguma teoria pedagógica em sua estrutura. O artigo A04, por exemplo, se baseia no construtivismo de Bruner, que afirma que qualquer conhecimento pode ser, de alguma forma, compreendido por qualquer pessoa, em qualquer idade, se for apresentado de maneira intuitiva e experiencial (SILVA; GOMES, 2017).

O artigo A09 apresenta uma abordagem com a teoria da variação, que resumidamente, diz que, para entender algo de uma forma melhor e mais completa é preciso compreender o fenômeno e contrastá-lo com aquilo que ele não é, nessa experiência o aprendiz cria uma significação para o objeto de estudo (BUSSEY; ORGILL; CRIPPEN, 2013).

O artigo A10, que emprega a Taxonomia de Bloom para ensinar por meio de RA e RV, a ideia é que o trabalho possua uma ordem hierárquica de conceitos de uma categoria de menor complexidade para um de maior complexidade, seguindo os níveis cognitivos do conhecimento: compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação, respectivamente (KRATHWOHL, 2002).

Na QP5 pretendeu-se delimitar as formas pelas quais os autores avaliaram as ferramentas tecnológicas em seus trabalhos. Foi possível verificar que o método mais utilizado para avaliar os recursos tecnológicos nos artigos selecionado foi a aplicação de questionários de um modo geral, tendo o questionário do tipo escala Likert com mais destaque, questionário que fornece uma série de afirmações nas quais é possível mensurar as diferentes percepções dos respondentes em uma escala de opinião (LIKERT, 1932).

Os outros métodos contaram com entrevista, pré-teste e pós-teste, teste qualitativo de engajamento e uma versão modificada do teste BOSS, um protocolo usado para que o pesquisador consiga comparar comportamentos entre alunos, que de acordo com autores foi utilizada para avaliar o envolvimento dos alunos e do professor com o tópico em questão. Além disso, verificou-se que 27% dos trabalhos não aplicaram ferramentas de avaliação, o que reflete em uma parte dos benefícios elencados na QP2 serem apenas teóricos.

5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão sistemática da literatura realizada a partir da análise de 15 artigos com propostas de tecnologias para o ensino do tópico OA. Dentre os principais achados deste estudo estão o uso da RA, RV e *softwares* de modelagem molecular como as principais tecnologias abordadas na literatura para ensinar orbitais entre os anos de 2015 e 2022. Verificou-se também várias vantagens dessas abordagens, tendo como destaque a redução da abstração de fenômenos e a manipulação de modelos espaciais, além dos alunos demonstrarem mais interesse e motivação quando essas tecnologias são aliadas ao ensino.

Quanto a possível problemática que envolve a aplicação dessas tecnologias, foram verificados poucos pontos mensuráveis, porém é válido destacar – o que talvez - seja o maior empecilho em qualquer abordagem tecnológica não tradicional, o tempo e esforço dedicado pelos facilitadores do processo educativo devem ser elevados para que o aluno obtenha um verdadeiro ganho de aprendizagem.

Verificou-se também que a forma mais utilizada para avaliar essas tecnologias são os questionários autorais, em sua maioria baseados na escala Likert. Outra importante conclusão é a de que apesar de nos últimos anos haver uma grande disseminação de ferramentas tecnológicas para auxiliarem o processo de ensino da disciplina de Química, poucos desses recursos se fundamentam ou aplicam alguma teoria pedagógica. Nesse sentido, como trabalhos futuros sugere-se que novas ferramentas tecnológicas sejam desenvolvidas tendo como pilar formador teorias pedagógicas consolidadas, para auxiliarem o ensino de OA, assim como outros tópicos em Química que apresentam um elevado nível de abstração.

6. REFERÊNCIAS

BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. **Ensino Híbrido**: personalização e tecnologia da educação. Porto Alegre: Penso, 2015, 272p.

BROWN, T. L.; LeMAY-JR., H. E.; BURSTEN, B. E. **Química**: a ciência central. 13. Ed. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2005, 1216p.

BRUNER, J. **The Process of Education**. Cambridge: Harvard University Press, 1977, 128p.

BOLSTAD, R.; BUNTTING, C. Digital Technologies and future-oriented science education a discussion document for schools. **Ministry of Education**, New Zealand ,2013. Disponível em: <<https://www.nzcer.org.nz/system/files/Digital%20technologies%20and%20future%20science%20education.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W. **Química**: a ciência central. 13 ed. São Paulo: Pearson, 2016. 1188 p.

- BUSSEY, T. J.; ORGILL, M.; CRIPPEN, K. J. Variation Theory: a theory of learning and useful theoretical framework for chemical education research. **Chem. Educ. Res. Pract.**, 14, p. 9–22, 2013. DOI: 10.1039/C2RP20145C Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2013/rp/c2rp20145c>. Acesso em: 29 jan. 2022
- COPOLO, C. F.; HOUNSHELL, P. B. Using Three-Dimensional Models to Teach Molecular Structures in High School Chemistry. **Journal of Science Education and Technology**. v.4, n.4, p. 295-305, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02211261>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02211261>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- FREITAS FILHO, J. R.; MARQUES, S. C. S.; MELO, R. C. L.; FREITAS, J. J. R. Modelos Mentais dos Estudantes do Ensino Médio e a Química dos alimentos. **RBECT**, v. 2, n. 3, p. 77-91, 2009. DOI: 10.3895/S1982-873X2009000300006. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/554>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- GILBERT, J. K.; REINER, M. NAKHLEH, M. **Visualization: Theory and Practice in Science Education**. Springer, Dordrecht, 326p, 2008. 333 p.
- GUIMARÃES, M. P.; GNECCO, B. B.; DAMAZIO, R. Ferramentas para Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Virtual e Aumentada. In: KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. (org.). **Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações**. Petrópolis: Editora SBC, 2007. cap. 6, p. 108-128.
- JOHNSTONE, A.H. **The Development of chemistry teaching: A changing response to changing demand**. *Journal of Chemical Education* n. 70, p. 701-704, 1993.
- KRATHWOHL, D. R. A revision of bloom's taxonomy: an overview, In: **Theory into Practice**, v. 4, n. 41, p. 212-218, 2002.
- KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos de Realidade Virtual e Aumentada**. In: KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Porto Alegre: Editora SBC, 2007. cap. 2, p.2-21.
- KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. Technical Report EBSE, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.
- LIKERT, R. A. **Technique for the Measurement of Attitudes**. *Archives of Psychology*, n. 140, 55 p, New York: 1932. Disponível em: https://legacy.voteview.com/pdf/Likert_1932.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.
- LIMA, J. O. G. Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. **Revista Espaço Acadêmico**. v. 12, n.136, p. 95-101, 2012. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/setembro2013/quimica_artigos/perspect_no_vas_metod_ens_quim.pdf. Acesso em: 13/10/2021.
- QUEIROZ, A. S.; OLIVEIRA, C. M.; REZENDE, F. S. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. **Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação**, [S.l.], v. 1, n. 2, mar. 2015. ISSN 2446-7634. Disponível em: <https://revistas.setrem.com.br/index.php/reabtic/article/view/44>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- SÁ FILHO, P.; DIAS, R. S. Realidade virtual e aumentada: Uma metodologia ativa a ser utilizada na Educação. **Revista Com Censo**, v. 6, n. 4, p. 94-101, nov. 2019. Disponível em:

<http://www.periodicos.se.df.gov.br/index.php/comcenso/article/view/741>. Acesso em: 16 nov. 2021.

SEBATA, C. E. **Aprendendo a imaginar moléculas**: uma proposta de ensino de geometria molecular. 2006. 165p. Dissertação (mestrado profissionalizante em ensino de ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/6442>. Acesso em: 30/11/2021.

SILVA, A. H.; GOMES, L.C. A teoria de aprendizagem de Bruner e o ensino de ciências. **Arquivos do MUDI**, v 21, n 03, p. 13-25, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/download/40938/pdf>. Acesso em: 29 jan. 2022.

TABER, K. S. Conceptualizing quanta: Illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals, **Chem. Educ. Res. Pract.**, v.3, n. 2, p. 145–158, 2002.

TRINDADE, J.; KIRNER, C.; FIOLHAIS, C. Orbitário: Exploração de Orbitais Hidrogenóides com Realidade Aumentada. In PÉREZ, J. [et al.] ed. - **Avances em Informática Educativa**. Artículos seleccionados del VI Simposio Internacional de Informática Educativa. Cáceres: Grupo de Arquitectura de Computadores y Diseño Lógico, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/12607>. Acesso em: 10 dez. 2021.

Submissão: 28/01/2023

Aceito: 08/03/2023