


MoleculAR: um aplicativo baseado em realidade aumentada destinado ao ensino de ligações químicas

Marcelo da Silveira Siedler¹ 

Rafael Cunha Cardoso² 

Bernardo dos Santos Lacerda³ 

Bruna de Souza Goldani⁴ 

Resumo

Este artigo apresenta o processo de desenvolvimento e validação do MoleculAR, um aplicativo digital que utiliza a Realidade Aumentada para auxiliar o ensino de química. A solução permite que seus usuários interajam com representações de átomos e moléculas em um ambiente virtual. O processo de desenvolvimento utilizou elementos oriundos do Design Participativo e contou com o envolvimento de professores de Química durante a concepção do aplicativo. A validação foi realizada em duas rodadas de testes junto a professores e alunos de ensino médio, utilizando instrumentos de avaliação diferentes com cada público-alvo. Como resultado, constatou-se que o aplicativo foi bem aceito pela comunidade acadêmica, e que o uso de Realidade Aumentada, empregada adequadamente, é uma tecnologia relevante para auxiliar o ensino de Química.

Palavras-chave: Química. Informática e Educação. Software Educativo.

MoleculAR: an augmented reality-based application aimed at teaching chemical bonds

Abstract

This paper presents the MoleculAR development and validation process, a digital application that uses Augmented Reality to assist chemistry teaching. The solution allows its users to interact with atoms and molecules representations in a virtual environment. The development process used elements from Participatory Design, and also involved Chemistry teachers during the design of the application. The application was validated in two testing rounds with teachers and high school students, using different assessment instruments for each target audience. As a result, the application was well accepted by the academic community, the use of Augmented Reality, properly employed, is a relevant technology to assist chemistry teaching.

Keywords: Chemistry. Informatics and Education. Educational Software.

¹ Doutorado, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Bagé, RS, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3698-1619>. E-mail: siedler@gmail.com

² Doutorado, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Pelotas, RS, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0445-3376>. E-mail: rafaelcardoso@ifsul.edu.br

³ Técnico, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Bagé, RS, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2183-3143>. E-mail: lacerdabernardo91@gmail.com

⁴ Doutorado, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Pelotas, RS, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9854-8223>. E-mail: goldanibruna@gmail.com

MoleculAR: una aplicación basada en realidad aumentada para enseñar enlaces químicos

Resumen

Este artículo presenta el proceso de desarrollo y validación de MoleculAR, una aplicación digital que utiliza Realidad Aumentada para ayudar a la enseñanza de la química. La solución permite a sus usuarios interactuar con representaciones de átomos y moléculas en un entorno virtual. El proceso de desarrollo utilizó elementos del Diseño Participativo y contó con la participación de profesores de Química durante el diseño de la aplicación. La validación se realizó en dos rondas de pruebas con docentes y estudiantes de secundaria, utilizando diferentes instrumentos de evaluación con cada público objetivo. Como resultado se encontró que la aplicación tuvo buena aceptación por parte de la comunidad académica, y que el uso de la Realidad Aumentada es una tecnología relevante para ayudar a la enseñanza de la Química.

Palabras clave: Química. Informática y Educación. Software Educativo.

Introdução

A difusão crescente de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) faz com que se tornem uma realidade cada vez mais presente no cotidiano das pessoas. Dentre as áreas educacionais em que as TDIC podem ser utilizadas, o ensino de Química, especificamente, pode ser destacado. Essa percepção ocorre, pois, o processo de aprendizagem de diversos conteúdos dessa disciplina é bastante fundamentado em modelos, muitas vezes, sendo representações da natureza provenientes de observação e experimentação. O conteúdo de ligações químicas, por exemplo, pode se tornar mais atrativo e compreensível com o emprego de tecnologias que permitam aos estudantes visualizar a representação de átomos e suas ligações de uma maneira interativa (ROCHA; VASCONCELOS, 2016).

A principal motivação deste trabalho surgiu de uma demanda de professores de Química do Instituto Federal Sul-rio-grandense, que expuseram a carência de objetos de aprendizagem digitais para contribuir em suas práticas de sala de aula. Com as disciplinas sendo ministradas remotamente, durante os últimos anos, cresceu a necessidade de oferecer aos alunos ferramentas lúdicas que despertem interesse no tema proposto (Melo, Silva; Gaia, 2022).

Diversos trabalhos são encontrados na literatura visando usar TDIC em sala de aula. Silva e Sambugari (2022) apresentam uma revisão de literatura sobre a formação e prática do professor para o uso das mídias e tecnologias em sala de aula, Lourenço (2019) avaliou as possíveis contribuições de um simulador digital que utiliza Realidade Aumentada(RA) no ensino de geometria molecular e Araújo *et al.*, (2017) que apresentam uma aplicação que utiliza RA como ferramenta para adicionar

interatividade aos livros de Ciências Biológicas em sala de aula.

Segundo Silva e Sambugari (2022) ainda é difícil o uso de soluções tecnológicas nas práticas escolares. Dentre as causas que ocasionam essa dificuldade pode-se destacar o desconhecimento dos professores em utilizar a tecnologia e a falta de eficácia do software apresentado. Ao longo do desenvolvimento do trabalho foi relatado pelos professores de Química consultados uma incompatibilidade entre os recursos oferecidos nas ferramentas digitais e o conteúdo ministrado em sala de aula, isto pode ocorrer devido ao recorte do tema abordado no aplicativo não convergir com o plano de ensino da disciplina, seja por abordar um conjunto muito amplo de conteúdos ou por apresentar as informações diferentemente ao adotado no plano de aula.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fornecer uma ferramenta digital lúdica que auxilie professores do ensino médio no ensino de um conteúdo específico de Química. A partir disso, foi desenvolvido o MoleculAR, um aplicativo digital para auxiliar o ensino de ligações químicas através da representação de elementos químicos em ambiente virtual utilizando RA. O artigo aborda o processo de desenvolvimento da ferramenta digital e o seu processo de avaliação junto ao público alvo. A validação da ferramenta foi realizada por cinco professores de Química e por sete alunos que faziam curso preparatório para o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: a seção 2 detalha os materiais e métodos utilizados no trabalho. A seção 3 apresenta o desenvolvimento do aplicativo criado. A seção 4 apresenta os procedimentos de coleta e análise dos dados, enquanto a seção 5 discorre sobre os resultados dos testes realizados com professores e alunos. Por fim, a seção 6 evidencia as principais conclusões observadas com a execução deste trabalho.

Metodologia

O projeto foi concebido dentro de um ambiente multidisciplinar, com a participação de professores da área de informática, um aluno do curso Técnico em Informática e uma professora de Química. Visando alcançar o objetivo de desenvolver um aplicativo digital lúdico, que possa ser efetivamente usado em sala de aula e

desperte o interesse dos alunos, foram planejadas uma série de etapas metodológicas, conforme destacado na Figura 1.

Figura 1 – Principais etapas previstas no projeto.



Fonte: Próprios Autores (2022).

A primeira etapa metodológica prevista no projeto trata da prospecção da aplicação, ou seja, o processo inicial de concepção da solução proposta. Nesta etapa, foram utilizados conceitos provenientes do Design Participativo (DP), uma metodologia que se caracteriza pela coleta, análise e projeto de soluções com a participação de usuários da aplicação (ALVES; ROSA; MATOS, 2018).

Com a aplicação dos preceitos do DP durante essa fase, foi definido o foco primordial do projeto, o desenvolvimento de uma aplicação voltada ao ensino de ligações químicas. A principal motivação em trabalhar esse conteúdo se deu pela dificuldade de compreensão dos alunos a respeito do tema. Entender ligações químicas requer um nível considerável de concentração por parte dos estudantes, já que se trata de um conteúdo muito abstrato. Além disso, nem sempre os professores dispõem de material didático que auxilie visualmente a compreensão do tema. Assim, as discussões iniciais do projeto resultaram nos seguintes requisitos primordiais:

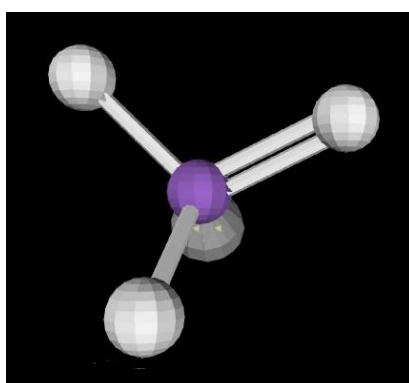
- Objeto de Aprendizagem: aplicativo digital;
- Conteúdo abordado: ligações químicas;
- Objetivo: representar graficamente em ambiente virtual os principais átomos estudados e, ao menos, um exemplo de cada categoria de ligação química; e
- Plataforma de uso: dispositivos móveis (*smartphones*), por ser o mais comum entre os alunos.

A partir dessas especificações, partiu-se para a próxima etapa prevista na metodologia, a busca por aplicações similares à solução proposta. Complementarmente a este estudo, também foram avaliadas possíveis ferramentas e tecnologias para viabilizar o desenvolvimento da aplicação, tendo em vista os requisitos técnicos elencados.

A etapa metodológica de pesquisa por trabalhos relacionados consistiu em um ciclo de estudos, dividido em duas fases. Na primeira delas, foi realizada uma pesquisa exploratória simples em engenhos de busca, utilizando palavras-chave relevantes no contexto do projeto. Como resultado, foram encontrados na literatura acadêmica diversos trabalhos envolvendo o desenvolvimento ou avaliação de soluções tecnológicas voltadas ao ensino de química (ARAUJO et al., 2017, PALHANO; OLIVEIRA; GROSSI, 2019, DELAMUTA et al., 2021 e LOURENÇO, 2019).

Dentre esses, destaca-se Lourenço (2019), que avaliou as possíveis contribuições de um simulador digital no ensino de geometria molecular. Neste trabalho foi utilizado o simulador PhET® da Universidade do Colorado. Este simulador foi desenvolvido para auxiliar o ensino de geometria molecular, permitindo explorar as moléculas, por meio de sistema construído para ser executado em navegador *web*, permitindo a execução *online* e em tempo real. A Figura 2 apresenta a criação de uma molécula por meio desta aplicação.

Figura 2 – Molécula criada no simulador PhET®.



Fonte: Próprios Autores (2022).

O trabalho avaliou o uso do simulador em sala de aula e considerou a ferramenta como eficaz, desde que os alunos tenham conhecimento prévio sobre o conteúdo abordado.

Por sua vez, Araújo *et al.* (2017), apresentam o DoctorBio, uma aplicação que utiliza RA por meio de dispositivos móveis, como ferramenta para adicionar interatividade aos livros de Ciências Biológicas em sala de aula. Já Palhano, Oliveira e Grossi (2019) investigam a influência do GeoGebra (aplicativo digital com suporte a RA) no ensino de geometria espacial. Por fim, Delamuta *et al.* (2021) descrevem uma revisão sistemática de literatura para analisar a produção acadêmica relacionada ao uso de aplicativos para o ensino de Química, especificando quais conceitos são abordados, além de pontuar aplicativos que podem ser utilizados dentro dessa área da ciência.

Após esta pesquisa por trabalhos acadêmicos, foi conduzida a segunda fase desta etapa de estudos. Após, foi realizado um levantamento de mercado buscando aplicativos voltados ao ensino de ligações químicas. Neste sentido, foi realizada uma busca simples na loja de aplicativos digitais *Google Play*, utilizando as palavras-chave "ligações químicas" e "geometria molecular". Como resultado foram encontradas diversas soluções voltadas a auxiliar o aprendizado de Química, dentre os quais se destacaram duas aplicações: Geometria Molecular de Ligações Covalentes; e QuimicAR.

O software Geometria Molecular de Ligações Covalentes realiza a representação de moléculas e montagens de ligações covalentes. A solução apresenta uma molécula na tela e permite a inserção e remoção de elétrons até que todos os átomos estejam estáveis. A ferramenta é bastante útil no estudo de ligações, visto que permite aos alunos estabilizarem a molécula a partir do aprendizado prévio do conteúdo. Já o QuimicAR é uma aplicação que utiliza RA para representar átomos com o apoio de *cards*. A solução consiste em uma série de *cards* que simbolizam diferentes átomos, permitindo ao estudante visualizar sua representação em tridimensional (3D).

Considerando os requisitos elencados nas etapas de pesquisa anteriores, foi realizado um ciclo dedicado a estudos relacionados às tecnologias adequadas para o desenvolvimento do projeto. Neste sentido, foram analisadas as seguintes soluções de software: *framework web Phaser*, IDE Construct 2; *Engine Game Maker*; e *Engine Unity*.

Para a construção da aplicação foi escolhida a plataforma *Unity Engine*. Além de possuir um excelente suporte a criação de aplicativos em 2D e 3D, essa ferramenta

facilita a integração com módulos de RA, possibilitando a criação de versões do aplicativo para diferentes plataformas com baixa necessidade de adaptação entre os ambientes. Uma característica que difere a *Unity* de plataformas similares, é sua gratuidade, sem restrições de número de cenas e tamanho dos objetos representados no aplicativo. Já a criação dos modelos e animações foi realizada usando o Blender, escolhido por ser um software para criação de conteúdo 3D gratuito e com os recursos que atendem as necessidades do projeto.

Ética na Pesquisa

Autodeclarámos que esta pesquisa envolve seres humanos. Porém, as identidades dos participantes foram preservadas, bem como reforçamos que as questões éticas que correspondem a análise e interpretação dos dados coletados nesta pesquisa foram atendidas. A pesquisa foi realizada remotamente, em que cada participante cooperou com a coleta de dados estando em local seguro, respeitando as medidas de distanciamento social. A pesquisa está de acordo com os parâmetros éticos adotados pela revista Educitec que considera as normativas da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa, com base na Resolução 466/12, Resolução 510/2016 e nos princípios contidos nos Códigos de Ética do *Committee on Publication Ethics* (COPE), conforme legislação disponível em https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html.

Desenvolvimento do aplicativo

MolecularAR é um aplicativo que provê modelos 3D de átomos e ligações químicas, projetadas em ambiente virtuais através da RA. A versão inicial do aplicativo foi criada para o sistema operacional Android, mais popular entre os alunos dos professores consultados, e a tecnologia auxiliar escolhida para projeção do conteúdo em RA foi o pacote *AR Foundation*. Este pacote é facilmente integrado à *Unity* e provê diversos plugins de projeção, dependendo do sistema operacional desejado. O aplicativo ainda utiliza o plugin *ARCore XR*, voltado para projeção em *smartphones* Android.

O aluno pode selecionar um dentre os átomos e ligações químicas disponíveis e projetá-lo no ambiente com o auxílio da câmera do *smartphone*. Cada modelo é uma representação 3D animada do átomo ou molécula e, estando visível no ambiente,

pode ser redimensionado ou alterado de local. O usuário tem disponíveis dois tipos de representação: átomos isolados e ligações entre átomos formando moléculas. No caso dos átomos isolados é possível visualizar a representação da estrutura, formado pelo núcleo (simbolizada pela esfera central vermelha) e pela eletrosfera, a qual contém os elétrons (representados pelas esferas azuis) girando em suas órbitas em torno do núcleo. A Figura 3 apresenta a projeção do átomo Berilo no MolecularAR.

Figura 3 – Projeção do átomo Berilo utilizando o MolecularAR.



Fonte: Próprios Autores (2022).

Para a visualização das ligações, inicialmente, foi projetado um modelo representando individualmente o núcleo e os elétrons de cada átomo presente, destacando como eles se organizavam na ligação. Porém, durante testes realizados junto a professores, foi constatado que esse meio tornava a visualização difícil, visto que em moléculas que continham muitos átomos, a representação ficava muito poluída. Visando a resolver esse problema optou-se por desenvolver os modelos utilizando as fórmulas estruturais, focando na configuração da molécula e sua respectiva geometria (SEBATA, 2006). Para este tipo de representação foram criados modelos em três dimensões, constituídos por esferas (átomos) e cilindros (ligações) permitindo uma representação mais limpa da molécula projetada.

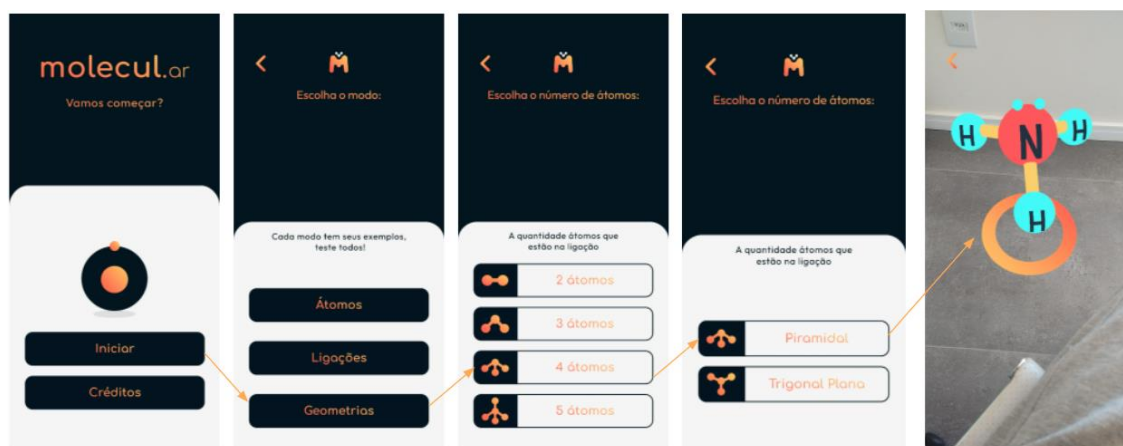
A escolha das ligações pode ser realizada no menu ligações ou por meio de sua representação geométrica. Cada molécula é formada por um número determinado de átomos, dependendo das interações a molécula apresenta certa configuração, denominada por geometria molecular. Com isso, o aluno pode observar as particularidades de cada categoria de molécula e visualizar exemplos das principais geometrias moleculares.

Considerando que o usuário deseja visualizar a Molécula de Amônia, um exemplo de geometria molecular piramidal, o usuário deve realizar os seguintes passos:

1. Escolher o tipo de elemento que deseja visualizar (átomo, ligação ou geometria), neste caso o usuário selecionaria geometria;
2. Informar a quantidade de átomos desejado. O aplicativo oferece exemplo de geometria molecular com 2, 3, 4 ou 5 átomos, o usuário seleciona 4 átomos; e
3. Por fim, o tipo de geometria molecular, que pode ser trigonal plana ou Piramidal, para visualizar a Molécula de Amônia o usuário deve selecionar a opção Piramidal.

Após essas três etapas a molécula amônia poderia ser visualizada na tela do usuário. A Figura 4 apresenta uma sequência de telas do MolecularAR.

Figura 4 – Representação da sequência de telas para apresentar a Molécula Amônia - NH₃.



Fonte: Próprios Autores (2022).

A próxima seção apresenta os resultados dos testes realizados.

Procedimento de validação e análise dos dados

O aplicativo MolecularAR foi validado com usuários em dois momentos. Inicialmente, foi realizada uma avaliação junto a professores de Química. Posteriormente, alunos de um curso preparatório para o ENEM testaram a aplicação. Cada uma dessas etapas contou com a adoção de instrumentos de avaliação diferentes, que serão descritos a seguir. Vale ressaltar que ambas as rodadas de validação foram executadas remotamente devido às restrições sanitárias impostas

pela pandemia.

A validação junto aos professores teve como objetivo validar a ferramenta proposta junto aos professores. O objetivo dessa análise foi validar os conceitos representados na aplicação antes de submeter a testes junto a seu público alvo final, ou seja, os alunos. Desta forma, é possível efetuar ajustes, caso os professores detectassem quaisquer problemas ou erros.

Identificação: O público-alvo dessa rodada foi professores de Química do Ensino Médio. Cinco professores participaram dessa etapa.

Instrumento de Avaliação: Foram aplicados dois questionários com apoio da ferramenta *SurveyMonkey*: questionário de Familiaridade; e questionário de Usabilidade. O primeiro deles foi composto por três questões, destacadas a seguir:

- Já utilizou aplicativo com Realidade Aumentada (RA)? (Sim ou Não).
- Se sim, como classifica a experiência? (Excelente, Muito Boa, Regular, Ruim, Muito Ruim).
- Consideraria utilizar a Realidade Aumentada (RA) como ferramenta de apoio ao ensino de Química? (Sim ou Não).

Os dados do questionário de familiaridade basicamente visam identificar o nível de conhecimento progresso dos professores acerca da RA, bem como o seu interesse em utilizar soluções semelhantes à proposta em sala de aula.

Já o questionário para avaliação de Usabilidade foi realizado por meio da escala *System Usability Scale (SUS)* (RITTA; PIOVESAN; SIEDLER, 2020). A escala SUS é formada por um questionário de dez (dez) itens, com cinco opções de respostas para cada item (NG; LO; CHAN, 2011). O SUS adota a escala *Likert*, que varia de "discordo totalmente" (com valor 1) a "concordo totalmente" (valor 5). Ele produz um único número, com valor máximo de 100, que representa uma medida composta da usabilidade geral da aplicação testada (NG; LO; CHAN, 2011). O questionário original foi desenvolvido em inglês, no entanto, a versão utilizada neste trabalho é a tradução realizada por Boucinha e Tarouco (2013).

Metodologia de Avaliação: Para orientar o teste foram enviadas aos participantes, por um aplicativo de mensagens instantâneas, informações gerais sobre o contexto do projeto e seus objetivos. Na sequência foi apresentado o roteiro para realização do teste, o qual consistiu nos seguintes passos:

1. Preenchimento do questionário de familiaridade, por um *link* disponibilizado no

- momento da aplicação do teste;
2. Instruções para *download* e instalação do aplicativo no celular;
 3. Tempo para utilização do aplicativo; e
 4. Preenchimento do questionário de avaliação de usabilidade, após o teste.

A partir da coleta dos dados foi feita uma análise do aplicativo e as considerações efetuadas pelos professores, as quais foram analisadas para criação da versão final do mesmo.

A validação junto aos estudantes contou com uma rodada de testes da solução com foco na validação da ferramenta com o seu público-alvo final, os alunos.

Identificação: Conforme destacado, esta rodada de testes foi voltada aos estudantes. Sete alunos entre 17 e 23 anos avaliaram a aplicação. Uma informação relevante é que nas semanas que antecederam ao teste, esses alunos vinham assistindo aulas sobre ligações químicas, tópico abordado na aplicação. Além disso, os alunos realizaram um simulado um dia antes da aula em que o teste da aplicação foi realizado.

Instrumento de Avaliação: Soluções como o MolecularAR promovem curiosidade e a exploração, e não necessariamente focam na ordenação de tarefas. Assim, para avaliar a aplicação sob a perspectiva de seu público alvo final, foi utilizado o *AttrakDiff* (HASSENZAHN, 2008). Esta ferramenta consiste em um instrumento de avaliação utilizado para aferir a atratividade de produtos interativos e a sua relação com a experiência de uso (*User eXperience* - UX). Para tanto, pares de atributos opostos são apresentados aos usuários, permitindo que eles caracterizem a solução avaliada conforme sua percepção. Esses atributos representam quatro dimensões em avaliação o (CARDOSO et al., 2016):

- *Pragmatic Quality* (PQ): dimensão que remete a usabilidade do produto, indicando como os usuários alcançam seus objetivos ao usar a solução avaliada;
- *Hedonic Quality - Stimulation* (HQ-S): dimensão que avalia o potencial evolutivo do produto. Indica até que ponto a aplicação pode suportar as necessidades de usuário relacionadas a inovação, interesse e funções estimulantes;
- *Hedonic Quality - Identity* (HQ-I): indica o quão identificados os usuários se sentem com o produto avaliado; e
- *Attractiveness* (ATT): resulta em um valor que mede o apelo geral (atração) da

solução do ponto de vista dos usuários.

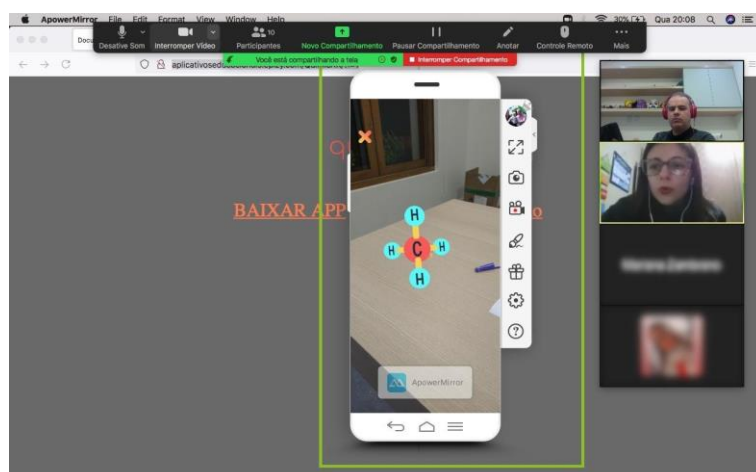
A ferramenta *AttrakDiff* foi originalmente desenvolvida em alemão e inglês. Tendo em vista que o questionário seria aplicado junto a alunos de Ensino Médio, este trabalho utilizou a versão adaptada do questionário de entrada de dados em língua portuguesa, o qual já havia sido utilizado em outros experimentos (CARDOSO et al., 2019). Assim, após coletar os dados por meio do questionário adaptado, os pesquisadores alimentaram o *AttrakDiff* para gerar os gráficos por meio deste instrumento de avaliação.

Metodologia de Avaliação: Assim como a validação com professores, devido à pandemia os testes com os alunos foram realizados remotamente. Para tanto, este processo foi executado por meio da ferramenta *Zoom*, durante uma aula virtual de Química de uma turma do curso preparatório para o ENEM. Neste encontro virtual assistiram 11 alunos, os quais foram convidados a participar. Dos onze presentes ao encontro síncrono, quatro não puderam executar o aplicativo por terem smartphones com versões incompatíveis da plataforma Android. Esses quatro alunos ficaram limitados a acompanhar o material auxiliar disponibilizado, que consistiu em um vídeo demonstrativo do aplicativo e conteúdo textual em um arquivo digital (PDF).

Para proceder com a avaliação, um colaborador do projeto conduziu, em conjunto com a professora da disciplina, todas as etapas envolvidas no processo de avaliação. Antes do teste, o colaborador detalhou o projeto de pesquisa e o objetivo da aplicação testada. Após isso, foram apresentadas as instruções necessárias para a instalação do aplicativo nos dispositivos móveis dos estudantes.

Com os dispositivos configurados adequadamente, os alunos tiveram cerca de 5 minutos para utilizar a aplicação de forma livre e, posteriormente, foram convidados a preencher o formulário *AttrakDiff*. Ao final deste tempo, o colaborador conduziu uma demonstração de utilização da aplicação MoleculAR, por meio de compartilhamento de sua tela aos alunos presentes. Na segunda parte da aula, com a ferramenta testada, a professora utilizou o MoleculAR para revisar o conteúdo de ligações de uma forma interativa, permitindo que os alunos que não tiveram contato com a ferramenta visualisassem o funcionamento do aplicativo. A Figura 5 destaca o momento em que a professora utiliza o software para explicar ligações químicas à turma.

Figura 5 – Utilização do MolecularAR na aula.



Fonte: Próprios Autores (2021).

Vale ressaltar que todos os alunos que testaram a aplicação foram convidados a assinar, de forma voluntária, o TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido), para que os dados captados durante a sessão de teste pudessem ser utilizados e publicados anonimamente na pesquisa realizada.

Resultados e Discussões

Nessa seção são detalhados os resultados da aplicação dos testes realizados com professores e alunos, destacando os resultados obtidos em cada etapa de validação.

Com relação aos professores, o questionário de familiaridade possibilitou verificar a dificuldade que o usuário pode encontrar ao usar o MolecularAR. Apenas dois dos cinco professores tinham prática pregressa em usar RA e ambos classificaram como positiva essa experiência. Todos os participantes responderam que têm interesse em utilizar RA em suas práticas em sala de aula, o que sugere que o aplicativo tem potencial de utilização em sala de aula.

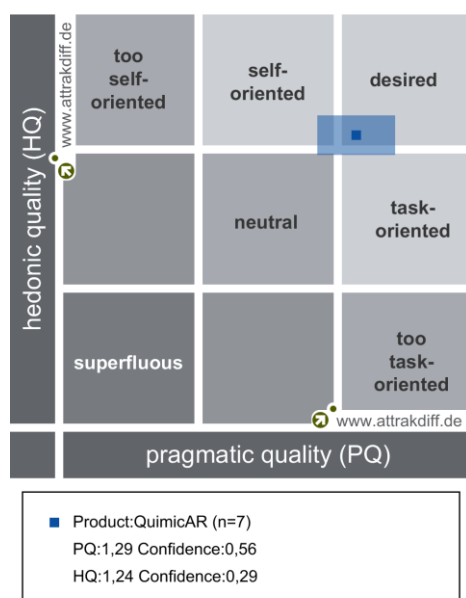
No que lhe concerne, o teste de usabilidade permitiu medir o grau de satisfação dos voluntários com a aplicação. Realizando o cálculo de pontuação da escala SUS, o aplicativo teve a média geral de 80,5. A partir desse dado pode-se inferir, aplicando os indicadores de classificação da escala, que o resultado da avaliação é classificado como "Bom", visto que a média global da escala SUS é de 68 pontos. A nota média do aplicativo a partir da aplicação dos parâmetros avaliados é B.

Os professores deixaram algumas sugestões de melhoria no aplicativo. Dentre

essas, a adequação do volume da representação do átomo, visto que o núcleo (esfera vermelha) é algo muito pequeno e a proporção fica muito distante da representação real. Além disso, solicitaram a alteração na forma de apresentação das ligações. Originalmente as ligações eram dispostas em um único menu, sem a divisão conforme a geometria molecular e, após a consideração do professor, a apresentação foi modificada para que cada ligação fosse disposta de acordo com sua classificação, conforme exibido anteriormente na Figura 4.

Por outro lado, o teste aplicado aos alunos foi realizado através da ferramenta AttrakDiff. Esta gera três gráficos de resultados que representam a percepção dos usuários em relação a aspectos pragmáticos e hedônicos da aplicação testada. O primeiro diagrama é o de portfólio, destacado na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de portfólio, gerado pelo instrumento de avaliação AttrakDiff.



Fonte: Próprios Autores (2021).

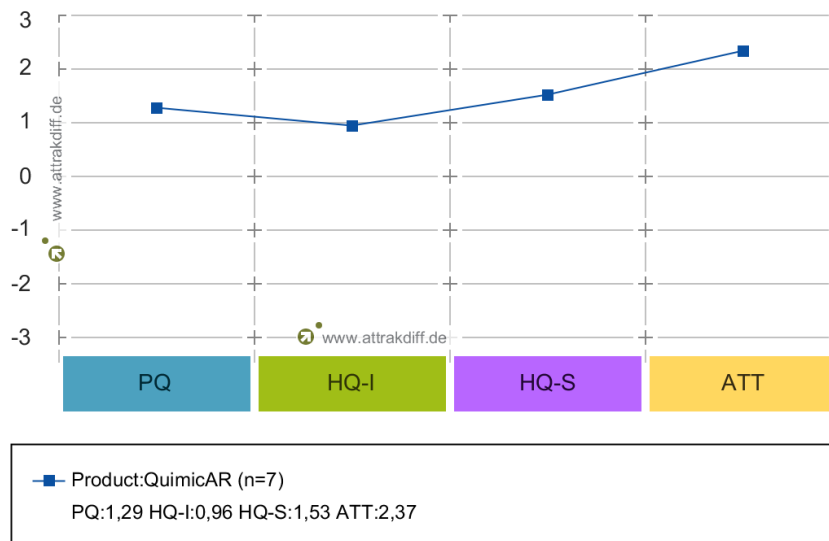
Este diagrama é formado por dois eixos: o vertical representando a HQ da solução; e o horizontal refletindo a PQ. Com base nos valores aferidos a partir da avaliação, a aplicação é posicionada em um ou mais quadrantes deste gráfico. Segundo o instrumento utilizado, o MoleculAR alcançou pontuações de PQ (1,29) e HQ (1,24).

Estes valores posicionaram a aplicação no quadrante "desejável" (*desired*), ou seja, a solução teve bons resultados em ambos os aspectos medidos (PQ e HQ). Além disso, outro detalhe que deve ser ponderado é o retângulo de confiança, o qual

representa a precisão dos dados obtidos. Quanto menor este retângulo, maior a confiabilidade dos resultados. Assim, percebe-se que o retângulo de confiança do MolecularAR ficou relativamente grande, revelando a necessidade por testes adicionais para melhorar a precisão dos resultados alcançados.

Já o diagrama de valores médios apresentado na Figura 7, destaca as pontuações alcançadas em cada uma das dimensões analisadas pelo AttrakDiff. Nesta representação, a qualidade hedônica distingue entre os aspectos de estimulação e identidade. Adicionalmente, é apresentada a classificação de atratividade geral da aplicação testada. No caso do MolecularAR, a dimensão HQ-I obteve a menor pontuação (0.96). Isto indica a necessidade por aprimoramento da UX da aplicação, que ampliem a identificação dos usuários com o *software* desenvolvido.

Figura 7 – Diagrama de valores médios, gerado pelo instrumento de avaliação AttrakDiff.



Fonte: Próprios Autores (2021)

As dimensões PQ e HQ-S tiveram avaliações melhores que HQ-I, e relativamente próximas entre si. Em termos de usabilidade, o valor de PQ (1.29) indica que os usuários conseguem realizar as tarefas propostas pela aplicação, mas ainda há espaço para evolução. Semelhantemente, a HQ-S obteve uma pontuação bastante relevante (1.53) indicando que os testadores se sentiram estimulados a utilizar a ferramenta desenvolvida. Por fim, o valor da atratividade geral da solução (ATT) alcançou um patamar bastante positivo (2.37), indicando que a aplicação tem uma avaliação geral ótima, se apresentando como uma solução interativa bastante promissora.

Outros dados relevantes são relacionados aos valores extremos alcançados pelos pares de atributos utilizados no *AttrakDiff* já que eles mostram quais características são críticas ou estão bem resolvidas na aplicação. No caso do MoleculAR, os atributos *technical* e *cheap* receberam pontuações mais à esquerda, segundo a escala do *AttrakDiff*. A primeira palavra, traduzida como "tecnológico" pode ser percebida como positiva, uma vez que os testadores podem ter avaliado que a solução tem um alto grau de tecnologia envolvido. Já o atributo *cheap* (barato) demonstra que os usuários acreditam que o custo financeiro da aplicação é baixo. Atributos localizado na extremidade à direita, por sua vez, mostram características como *presentable* (apresentável), *creative* (criativo) e *inviting* (convidativo), justificando a alta pontuação de atratividade geral da solução criada.

Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e validação de um aplicativo que utiliza RA para auxiliar o ensino de Química. A solução foi validada em duas rodadas de testes, utilizando diferentes instrumentos de avaliação, como públicos distintos. Na primeira rodada, cinco professores de química testaram o MoleculAR, focando em questões relacionadas especialmente à usabilidade do aplicativo. Este experimento resultou em uma boa aprovação do aplicativo, dado que o mesmo obteve uma Média Geral 80,5 com a nota B conforme a escala SUS.

A segunda rodada de testes envolveu 7 estudantes do ensino médio, utilizando o *AttrakDiff*, um instrumento de avaliação que mede a UX da aplicação, considerando aspectos pragmáticos e hedônicos da mesma. Os resultados alcançados se mostraram bastante satisfatórios, em especial considerando a atratividade geral da aplicação, que teve uma pontuação bastante alta. Apesar desse resultado promissor, as pontuações relacionadas às dimensões de qualidade pragmática e hedônica (identificação) alertam que o software ainda pode evoluir, tanto em questões de funcionalidades (usabilidade) e identificação com o produto (UX). Além disso, o retângulo de confiança gerado pelo *AttrakDiff* insinua que mais rodadas de testes com uma quantidade maior de usuários ainda se fazem necessárias para aumentar a precisão dos resultados alcançados até aqui.

O MoleculAR está em processo de registro no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e encontra-se disponível para download na *Play Store*.

Como continuidade do trabalho estão programadas novas rodadas de testes com alunos do ensino médio e está em desenvolvimento uma nova funcionalidade chamada "Faça você mesmo". Esta funcionalidade consiste em permitir que o aluno monte as moléculas no ambiente de RA, estimulando a prática do conteúdo apresentado no aplicativo. Pretende-se realizar também uma análise da efetividade do uso do aplicativo em sala de aula, avaliando se este contribui no processo de aprendizagem.

Agradecimentos

Agradecemos a Pró-Reitoria de Pesquisa (PROPESP) do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense pelo fomento que permitiu a realização deste trabalho.

Referências

ALVES, D.; ROSA, J.; MATOS, E. Design participativo na comunidade brasileira de informática na educação: um mapeamento sistemático. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7.*, 2018, [S.I.]. **Anais [...]**. 2018. p. 828.

ARAUJO, L. *et al.* Doctorbio: um estudo de caso sobre a utilização de recursos de realidade aumentada no ensino de ciências biológicas. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA, 23.*, 2017, [S.I.]. **Anais [...]**. 2017. p. 294–302.

BOUCINHA, R. M.; TAROUCO, L. M. R. Avaliação de ambiente virtual de aprendizagem como uso do sus-system usability scale. **RENOTE**, Rio Grande do Sul, v. 11, n. 3, 2013.

CARDOSO, R. *et al.* Improving a software framework from an assistive technology application for itv. *In: IBEROAMERICAN CONFERENCE ON APPLICATIONS AND USABILITY OF INTERACTIVE TV, 8.*, 2019, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. 2019. p.31–49.

CARDOSO, R. *et al.* Doce labirinto: experiência de jogo utilizando interação baseada em movimentos da cabeça e recursos tangíveis. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTO DIGITAL, 15.*, São Paulo. **Anais [...]**. 2016, p. 563–572, 2016.

DELAMUTA, B. H. *et al.* O uso de aplicativos para o ensino de Química: uma revisão sistemática de literatura. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 7, p. e145621, 2021.

HASSENZAHN, M. User experience(ux): towards an experiential perspective on product quality. *In: CONFERENCE ON L'INTERACTION HOMME-MACHINE, 20.*, New York, 2008. **Proceedings [...]**. 2008, p. 11–15.

HRON, M.; OBWEGESER, N. Scrum in practice: an overview of Scrum adaptations. *In: HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES*, 51., Hawaii, 2018. **Proceedings [...]**. 2018.

LORENÇO, R. **Uso de um aplicativo como recurso didático para o ensino de geometria molecular**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Licenciatura em Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

MELO, M. S. de; SILVA, V. R.; GAIA, R. V. Tecnologias digitais: as complexidades do cenário pandêmico no PROEJA e na EJA durante o ensino remoto. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 8, n. jan./dez., p. e198522, 2022. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/1985>. Acesso em: 20 set. 2021.

NG, A. W.; LO, H.; CHAN, A. Measuring the usability of safety signs: a use of system usability scale (sus). *In: INTERNATIONAL MULTICONFERENCE OF ENGINEERS AND COMPUTER SCIENTISTS*, 2., Hong Kong, 2011. **Proceedings [...]**. 2011, p. 1296–1301.

PALHANO, M.; OLIVEIRA, F. de; GROSSI, L. A realidade aumentada no ensino de sólidos geométricos. *In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON COMPUTERS IN EDUCATION*, 30., [S.I.], 2019. **Anais [...]**. 2019, p. 1012.

RITTA, Â. dos S.; PIOVESAN, S. D.; SIEDLER, M. da S. O uso da realidade virtual para ensino de astronomia: desenvolvimento e aplicação de um software para simulação de planetário. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, v. 6, p. e096420, 2020. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/download/964/486/5290>. Acesso em: 21 out. 2021.

ROCHA, J. S.; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. *In: Encontro Nacional de Ensino de Química*, 18., Florianópolis, 2016. **Anais [...]**. 2016.

SEBATA, C. E. **Aprendendo a imaginar moléculas: uma proposta de ensino de geometria molecular**. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, S. P. da. Políticas de acesso à internet no brasil: indicadores, características e obstáculos. *In: THEMOTEO, R. J. Internet e Sociedade*, Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2015. p. 151–171.

SILVA, L. C. N.; SAMBUGARI, M. R. do N. Formação e prática do professor para o uso das mídias e tecnologias na alfabetização: uma revisão de literatura. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 6, p. e148120, 2020. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/1481>. Acesso em: 10 abr. 2022.

Recebido: 05/05/2022

Aprovado: 16/08/2022

Publicado: 10/10/2022

Como citar (ABNT): SIEDLER, M. S. *et al.* Molecular: um aplicativo baseado em realidade aumentada destinado ao ensino de ligações químicas. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, v. 8, e200622, 2022.

Contribuição de autoria:

Marcelo da Silveira Siedler: Investigação, metodologia, software e escrita (rascunho original).

Bruna de Souza Goldani: Conceituação, escrita (rascunho original), supervisão e recursos.

Rafael Cunha Cardoso: Administração de projeto, validação, visualização e escrita (revisão e edição).

Bernardo dos Santos Lacerda: Escrita (rascunho original) e software.

Editor responsável: Iandra Maria Weirich da Silva Coelho.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

