

Uso da Realidade Aumentada no Ensino e Aprendizagem de Ciências e Biologia no Ensino Fundamental e Médio: Uma Revisão Sistemática de Literatura

João V. M. Freitas¹, Thiago F. A. Da Silva¹, Gabryella R. Rodrigues², Alline B. Oliveira³, Sebastião E. Alves Filho⁴, Ceres G. B. Morais⁴

¹Departamento de Informática, Faculdade de Ciências Exatas e da Terra
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) – Mossoró, RN - Brasil

²Curso de Telecomunicações
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) - Belém, PA -
Brasil

³ Departamento de Estudos Curriculares e Tecnologia Educativa, Instituto de Educação
Universidade do Minho (UMinho), Campus de Gualtar, - Braga - Portugal

⁴ Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) e Universidade Federal Rural
do Semi-Árido - Mossoró, RN - Brasil

{maiafreitas, thiagofrank}@alu.uern.br, gabryella.silva@ifpa.edu.br,
dl4246@ie.uminho.pt, {sebastiaoalves, ceresmorais}@uern.br

Abstract. *This paper presents a systematic literature review on the use of Augmented Reality (AR) in Science and Biology education, covering elementary and secondary levels. It analyzes 15 studies published between 2019 and 2024, identifying tools, application areas, devices, technologies, and key pedagogical trends associated with AR. The results highlight the primary use of mobile devices and development platforms like Unity 3D in AR-based educational solutions.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da Realidade Aumentada (RA) no ensino de Ciências e Biologia, abrangendo os níveis fundamental e médio e analisando 15 estudos publicados entre 2019 e 2024. Foram identificadas ferramentas, áreas de aplicação, dispositivos, tecnologias e as principais tendências pedagógicas associadas ao uso da RA. Os resultados mostram o uso predominante de dispositivos móveis e plataformas de desenvolvimento como o Unity 3D nas soluções educacionais baseadas em RA.*

1. Introdução

A Realidade Aumentada (RA) tem se consolidado como uma tecnologia promissora no campo educacional, ao possibilitar a sobreposição de elementos virtuais no mundo real, promovendo experiências imersivas e interativas. O seu potencial para transformar o ensino de Ciências é especialmente notável quando aplicada à Biologia, uma disciplina que frequentemente envolve conceitos abstratos e estruturas invisíveis ao olho humano. Nesse contexto, a RA contribui para tornar tangíveis conteúdos complexos, como moléculas, organelas celulares ou sistemas fisiológicos, favorecendo a aprendizagem

significativa.

No Brasil, observa-se um interesse crescente pela adoção da RA no ensino fundamental e médio, impulsionado pela maior acessibilidade a dispositivos móveis e ao desenvolvimento de ferramentas digitais voltadas ao contexto escolar. No entanto, apesar do avanço tecnológico, a integração efetiva da RA às práticas pedagógicas ainda enfrenta desafios, especialmente em relação à infraestrutura das escolas e à formação docente.

Diante disso, este trabalho apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com o objetivo de mapear, nos últimos cinco anos, como a RA tem sido utilizada no ensino de Ciências e Biologia nos níveis fundamental e médio no Brasil e no exterior. Especificamente, busca-se identificar as ferramentas desenvolvidas, as áreas da Biologia contempladas, os dispositivos utilizados, as tecnologias empregadas no desenvolvimento das soluções, bem como a evolução do uso da RA nesse contexto.

2. Referencial Teórico

A Realidade Aumentada (RA) enriquece a nossa percepção do mundo real, adicionando elementos virtuais a ele. Ao contrário da realidade virtual que nos transporta para um ambiente totalmente digital, a RA, como explica Azuma (1997), sobrepõe o virtual ao mundo físico, criando a sensação de que ambos coexistem. Essa tecnologia, conforme descrito por Tori (2006), permite-nos interagir com objetos virtuais projetados no nosso ambiente, sem a necessidade de grandes adaptações.

Dessa forma, a Realidade Aumentada (RA) une o mundo físico a recursos digitais, criando experiências de aprendizagem imersivas, incluindo elementos como localização, áudios e comentários, conforme apontado por Rukmini et al. (2025). Para Faria e Miranda (2023), em termos de usabilidade, a RA é aplicada não só no campo educacional, mas estende-se aos setores militar, industrial e de saúde. O desenvolvimento dos sistemas móveis e o aumento da sua acessibilidade, favorecem, em geral, a integração nos contextos de aprendizagem formal e informal. No entanto, a adoção nos contextos formais escolares enfrenta barreiras relacionadas a custos e infraestrutura [Faria e Miranda 2024]. Mesmo assim, há estudos que focam a utilização da RA especialmente no ensino superior.

Para guiar o uso da RA no ensino formal, alguns frameworks pedagógicos e modelo teóricos são frequentemente empregados: Modelo de Motivação de Aprendizagem (Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction-ARCS) [Keller, 2010] e o Modelo de Aceitação da Tecnologia (Technology Acceptance Model-TAM) [Davis, 1989].

Segundo os referidos autores, o primeiro modelo sugere que o design educacional, ao conectar conteúdo com objetivos pessoais do aluno e ao garantir a confiança e satisfação no aprendizado, estimula a motivação. Já o modelo TAM propõe que a aceitação da tecnologia depende da percepção de que ela melhora o desempenho e é fácil de usar.

Especificamente para o ensino de Biologia, a RA ajuda a superar desafios como a falta de modelos didáticos concretos e a visualização de estruturas tridimensionais ou conceitos abstratos. Isso aumenta o interesse dos alunos, como apontado por Azzahra et al. (2024). Faria e Miranda (2023) reforçam que a RA não só melhora a aprendizagem

de conteúdo, mas também o envolvimento e as habilidades visuais dos estudantes.

Por estes motivos, o crescente interesse pela RA em Ciências e Biologia deve-se ao desenvolvimento de aplicativos mais acessíveis e à natureza abstrata de muitos conceitos dessas áreas, além do que fenômenos não visíveis a olho nu, podem ser visualizados de forma eficaz com a RA, segundo Oliveira et al. (2024).

No contexto brasileiro, exemplos de sucesso incluem o uso da RA para o ensino de química e biologia [Ferreira e Pereira 2020], citologia [Ferreira et al. 2022] e a compreensão do Sistema Solar. Mas para que essas experiências sejam realmente significativas, Carvalho et al. (2022) enfatizam a importância de um planejamento cuidadoso por parte dos professores, com objetivos claros e um papel mediador no processo de aprendizagem.

3. O Método

A técnica da revisão sistemática da literatura busca “empregar uma metodologia de pesquisa com rigor científico e de grande transparência, cujo objetivo visa minimizar o enviesamento da literatura, ao passo que é feita uma recolha exaustiva dos textos publicados sobre o tema em questão” [Faria 2014, p. 26].

Para garantir este rigor e transparência, Donato & Donato (2019) afirmam que toda RSL deve conter um protocolo de investigação, que descreve detalhadamente todo o processo. O protocolo adotado nesta revisão segue as diretrizes para revisões sistemáticas da literatura apresentadas por Kitchenham e Charters (2007) e Nakagawa et al. (2017) e é formado pelas seguintes etapas: formulação das questões de pesquisa a serem respondidas; estratégias adotadas na realização da busca e seleção dos estudos que serão incluídos na revisão; o procedimento de extração e classificação dos dados e por fim as estratégias de síntese dos dados, e análise dos resultados.

4. Critérios de Inclusão e Exclusão

A definição dos critérios de inclusão adotados nesta revisão sistemática teve como objetivo garantir a relevância, atualidade e aplicabilidade dos estudos selecionados. O recorte temporal entre 2019 e 2024 busca concentrar a análise em pesquisas recentes, refletindo os avanços mais atuais no uso da RA no ensino.

O foco no ensino fundamental e médio justifica-se pela importância de investigar como essa tecnologia tem sido utilizada para apoiar a aprendizagem de biologia nos níveis básicos de escolarização, etapa crucial para a formação do pensamento científico. Além disso, foram incluídas apenas publicações que abordam explicitamente o uso da RA no ensino de Ciências e Biologia, assegurando aderência ao tema central da pesquisa. Por fim, a exigência de que os artigos tenham sido revisados por pares assegura a qualidade científica dos estudos analisados, contribuindo para a validade e confiabilidade dos resultados desta revisão. Em relação aos critérios de exclusão, foram definidos os seguintes: registros duplicados, estudos sobre RA para ensino superior ou outros níveis de ensino, estudos que tratem de outras disciplinas sem foco na biologia e artigos não revisados por pares.

4.1. Bases de Dados e Estratégia de Busca

Para a realização desta revisão sistemática da literatura, foram selecionadas quatro bases

de dados: SciELO, IEEE Xplore, SpringerLink e SBC OpenLib (SOL). A escolha dessas fontes justifica-se pela disponibilidade de acesso aos trabalhos, complementaridade de escopo, abrangência temática e relevância na área da pesquisa. Para orientar a escolha das palavras-chave que compõem a string de busca utilizada nas consultas às bases de dados, bem como o período de análise, optou-se pela realização de uma busca exploratória [Nakagawa et al., 2017] usando várias combinações de palavras-chave derivadas das questões de pesquisa. Esta busca selecionou, de forma manual, trabalhos que abordam os temas das questões de pesquisa, a fim de identificar a melhor combinação de termos, capazes de encontrar um conjunto de estudos primários relevantes.

O uso de uma string de busca ampla, proporcionou a sua utilização em diversas bases de dados bibliográficas [Kitchenham e Charters 2007]. A validação desta string foi realizada utilizando duas estratégias: a verificação da exatidão do conjunto de termos escolhidos e a reprodução do protocolo final por um especialista da área; e a identificação da presença de artigos primários nos resultados das buscas experimentais. O Quadro 1 resume informações do protocolo desenvolvido para essa RSL.

Quadro 1. Protocolo de pesquisa da RSL

Questão de pesquisa
QP. Como se dá o processo de ensino e aprendizagem de Ciências e Biologia no ensino fundamental e médio com o apoio de Realidade Aumentada?
Questões de apoio
QA1. Quais ferramentas de apoio têm sido utilizadas para o desenvolvimento de aplicações com Realidade Aumentada (RA) para o ensino de Ciências e Biologia no ensino fundamental e médio nos últimos 5 anos?
QA2. Para quais áreas da biologia essas ferramentas são aplicadas?
QA3. Quais dispositivos são utilizados para essas soluções?
QA4. Quais tecnologias e linguagens de programação são utilizadas para desenvolver essas ferramentas?
QA5. Como evoluiu o uso de RA no ensino de Ciências e Biologia ao longo dos anos?
String de busca
("realidade aumentada" OR RA) AND ("biologia" OR "ciências biológicas") AND ("educação") ("augmented reality" OR AR) AND ("biology" OR "biological science") AND ("education")
Bases de dados
Scielo, IEEE Xplore, SpringerLink, SBC OpenLib (SOL)
Crítérios de inclusão
1- Estudos publicados entre 2019 e 2024.
2- Foco no ensino fundamental e médio.
3- Artigos escritos na língua portuguesa ou inglesa.
4- Estudos que abordem o uso de RA para o ensino de Ciências e Biologia.

5- Artigos revisados por pares.
Critérios de exclusão
1- Registros duplicados.
2- Estudos sobre RA para ensino superior ou outros níveis de ensino.
3- Estudos que tratem de outras disciplinas sem foco na biologia.
4- Artigos não revisados por pares (e.g., resumos de conferências, posters).
Critério de validação metodológica
Todo o processo de busca foi replicado por outro pesquisador.

5. Processo de Seleção dos Estudos

A estratégia de busca e seleção dos artigos com potencial de serem incluídos nesta RSL está dividida em quatro Etapas: Identificação, Triagem, Elegibilidade e Inclusão, resumida na Figura 1.

O primeiro passo foi realizar a identificação e organização dos 120 estudos retornados das bases de dados. Os metadados dos artigos em formato RIS, foram exportados para a ferramenta de gestão bibliográfica Zotero, a qual possibilitou a devida organização e detecção automática de artigos duplicados, além de possibilitar a manutenção do histórico do número de artigos incluídos e/ou excluídos em cada etapa do processo.

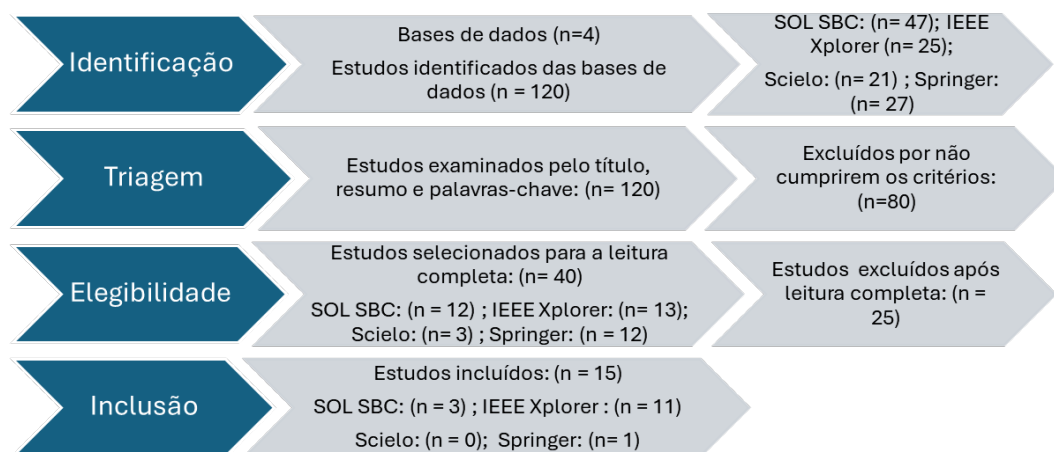


Figura 1. Etapas do processo de busca e seleção dos estudos para a RSL

Após isso, foi realizada a triagem dos artigos. Nenhum documento foi excluído por duplicidade, dessa forma todos os artigos foram mantidos na primeira etapa do processo. Esta consistiu na aplicação de todos os critérios de exclusão, a partir da leitura dos respectivos títulos e resumos dos artigos.

Ao final desta etapa, 40 trabalhos foram selecionados para a fase de elegibilidade, em que foi realizada a leitura completa. Nesta fase os artigos foram lidos na sua íntegra e os critérios de exclusão foram novamente aplicados, gerando um conjunto de 15 estudos elegíveis para a etapa de inclusão, na qual se deu a extração e

análise de dados. Os artigos incluídos estão apresentados, em ordem alfabética, na Tabela 1.

Tabela 1. Estudos incluídos para análise e extração de dados da RSL

Id	Título	Base	Ano
1	Application of Augmented Reality Technology in Motion Systems in Humans to Support Biology Lessons	IEEE Xplore	2021
2	Development of Mobile Learning Application Based on Augmented Reality with Index Card Match Method	IEEE Xplore	2020
3	Effective Anatomy Learning Using Markerless Augmented Reality Interface for Medical Education	IEEE Xplore	2024
4	Effects of Incorporating AR-based Mobile Learning System on Elementary School Students' Perceived Usefulness of M-learning	Springer Link	2021
5	Enhancing Biology Laboratory Learning: Student Perceptions of Performing Heart Dissection With Virtual Reality	IEEE Xplore	2024
6	Enhancing Biomedical Education with Real-Time Object Identification through Augmented Reality	IEEE Xplore	2023
7	O Uso de Aplicações de Realidade Virtual e Realidade Aumentada como Ferramentas Pedagógicas na Educação Básica	SOL	2021
8	Realidade Virtual e Realidade Aumentada no Ensino de Biologia Celular	SOL	2023
9	Safari Escolar: Aventura com Animais e Realidade Aumentada	SOL	2024
10	Teach-Me DNA: an Interactive Course Using Voice Output in an Augmented Reality System	IEEE Xplore	2020
11	The Effects of Mobile AR-based Biology Learning Experience on Students' Motivation, Self-Efficacy, and Attitudes in Online Learning	Springer Link	2023
12	The Impact of Mobile AR Application on Learning Motivation in Biological Learning Based on The ARCS Model	IEEE Xplore	2024
13	The Influence of Learning Style on Biology Teaching in AR Learning Environment	IEEE Xplore	2021
14	The Study of using Augmented Reality Technique in Children's Natural Ecology Learning by Technology Acceptance Model	IEEE Xplore	2019
15	3D Natural Interaction for an Augmented Reality System	IEEE Xplore	2019

6. Análise e Síntese dos Dados

Conforme Kitchenham & Charters (2007), este trabalho adota uma RSL com método integrativo, buscando sumarizar e agrupar evidências. O objetivo é conectar fortemente as evidências aos resultados, permitindo a replicação e confirmação da análise por revisores externos [Nakagawa et. al 2017]. Neste tópico, são apresentados os achados da RSL, que respondem às questões de apoio da pesquisa. Para facilitar a compreensão, os trabalhos serão referenciados por seu ID (de 1 a 15), conforme a Tabela 1.

6.1. QA1. Quais ferramentas de apoio têm sido utilizadas para o desenvolvimento de aplicações com Realidade Aumentada (RA) para o ensino de Ciências e Biologia no ensino fundamental e médio nos últimos 5 anos?

Nos últimos 5 anos, diversas ferramentas de RA surgiram para tornar o ensino de Ciências e Biologia no fundamental e médio mais visual e interativo. Para uma melhor compreensão, essas ferramentas mapeadas foram categorizadas em: Motores de Jogo, Dispositivos Físicos, Aplicações Específicas, SDKs (Software Development Kits) e Frameworks.

Os Motores de Jogo são plataformas de software que fornecem um conjunto de ferramentas e funcionalidades para criar ambientes interativos em 2D e 3D, incluindo jogos, simulações e aplicações de RA e Realidade Virtual (RV) (5). O Unity foi um motor de jogo frequentemente citado nos estudos 1, 3, 5 e 13. Ele se destaca pois permite aos desenvolvedores construir experiências complexas e ricas em gráficos, além de oferecer a vantagem de ser multiplataforma (1).

Nos artigos analisados, o Unity foi utilizado em conjunto com o Vuforia para desenvolver aplicações de RA focadas em sistemas de movimento humano (1); serviu de base para uma interface de RA sem marcadores no aprendizado de anatomia, em parceria com o Google AR Core (3); foi a plataforma para criar uma simulação de dissecação do coração em RV usando o Oculus Quest 2 (5); e novamente em conjunto com o Vuforia, foi usado no desenvolvimento de um ambiente de aprendizagem em RA (13).

A categoria de dispositivos físicos engloba os equipamentos de hardware que os usuários finais utilizam para experimentar conteúdos de RV ou RA. Entre os citados estão: Google Cardboard, um visualizador de RV feito de papelão, que utiliza um smartphone como tela e processador para permitir experiências imersivas simples (7); e o Oculus Quest, um headset de RV que oferece uma experiência de RV mais avançada e imersiva (5).

Já em aplicações específicas, foram identificados aplicativos desenvolvidos com um propósito educacional particular, que oferecem experiências focadas em conteúdos curriculares específicos. Entre essas aplicações estão o AR-based Virtual Jungle Application (2), o Biologia UTPL (8) e o Safari Escolar (9).

Outra categoria evidenciada foram os SDKs, que são conjuntos de ferramentas de software, bibliotecas, documentação e exemplos de código que permitem aos desenvolvedores integrarem funcionalidades específicas em seus softwares. Como exemplo podemos citar: o Wikitude SDK, um SDK focado em RA baseada em geolocalização (4, 14); o Vuforia, uma plataforma com capacidade de reconhecimento e rastreamento de imagens 2D e objetos 3D (1, 6, 12, 13); o Google ARCore, um SDK de RA que permite experiências em dispositivos Android sem a necessidade de marcadores físicos (3); o ARTooKit, uma biblioteca de RA de código aberto, associada ao reconhecimento e rastreamento de marcadores impressos para a sobreposição de conteúdo virtual (10, 15); e por fim o Huawei AR Engine, desenvolvido pela Huawei e otimizado para seus dispositivos móveis, com recursos de rastreamento de movimento e compreensão do ambiente (12).

Na última categoria, encontramos os Frameworks, também um conjunto de ferramentas e bibliotecas que simplificam o processo de desenvolvimento de software.

Entre eles estão o ARKit, desenvolvido pela Apple para construir experiências de RA imersivas em iPhones e iPads (6) e o jQuery Mobile, um framework JavaScript voltado para o desenvolvimento de interfaces de usuário responsivas e otimizadas para web (14).

6.2. QA2. Para quais áreas da biologia essas ferramentas são aplicadas?

A análise dos trabalhos revela que as principais áreas de estudo da biologia exploradas por essas ferramentas incluem Biologia Celular e Molecular, Anatomia e Fisiologia Animal (incluindo Humana), Botânica, Ecologia, Biomedicina e Saúde, além de abordagens mais amplas de Educação Biológica Multidisciplinar.

Na área de Biologia Celular e Molecular, que explora os componentes e processos fundamentais da vida, diversos tópicos foram abordados. O estudo 8 concentrou-se na Biologia Celular, investigando células animais e vegetais e suas organelas. A complexidade do DNA e sua estrutura molecular foram foco nos trabalhos 10 e 15. Complementarmente, o estudo 13 aprofundou-se no papel do DNA como material genético.

A Anatomia e Fisiologia Animal, foi uma área amplamente beneficiada, permitindo a visualização tridimensional de sistemas biológicos. O sistema de movimento humano (1), a anatomia humana (3), a anatomia cardíaca (5), o sistema digestivo (12) e a biologia animal (9) foram os tópicos abordados dentro dessa área de estudo.

Na Botânica, que se dedica ao estudo das plantas, o trabalho 2 explorou a morfologia e anatomia vegetal. No âmbito da Ecologia, o estudo 4 focou-se na dieta de borboletas, enquanto o trabalho 14 desenvolveu um guia interativo de árvores. Já no campo da Biomedicina e Saúde, que aplica princípios biológicos e tecnológicos para o avanço da saúde, a investigação 6 direcionou seu foco para identificar instrumentos biomédicos.

Finalmente, a categoria de Educação Biológica Multidisciplinar engloba trabalhos que utilizam essas tecnologias de forma mais ampla no ensino fundamental. O trabalho 7 é um exemplo, focado na exploração de ambientes virtuais e manipulação segura de objetos 3D em um contexto que também engloba Ciências, Artes, Geografia e História.

6.3. QA3. Quais dispositivos são utilizados para essas soluções?

O quantitativo de dispositivos suportados nos trabalhos analisados revela uma clara tendência na aplicação da RA e RV em dispositivos móveis. A grande maioria dos estudos (11 trabalhos, incluindo IDs 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13 e 14) utiliza smartphones (seja Android, iOS ou ambos) como principal plataforma. Essa preferência é justificada pela acessibilidade e ubiquidade desses dispositivos, que já estão amplamente disponíveis para alunos e instituições de ensino, eliminando a necessidade de hardware especializado e caro.

Além dos smartphones, alguns trabalhos exploram dispositivos mais específicos ou menos comuns no dia a dia do aluno, mas relevantes para a experiência imersiva, como o uso do Oculus Quest 2 (5) para simulações mais aprofundadas e imersivas, como a dissecação virtual do coração. Embora o Oculus Quest seja um hardware mais

especializado, ele oferece um nível de detalhe e presença que os smartphones não conseguem replicar na RV.

Os óculos de baixo custo acoplados a smartphones (7), como o Google Cardboard, indicam uma estratégia para democratizar o acesso à RV. Embora mais simples, esses adaptadores permitem uma imersão básica usando um smartphone já existente.

Por fim, um grupo menor de estudos (8, 10 e 15) ainda recorre a computadores com câmera e/ou microfone, quando atribuído ao uso de tecnologias de RA mais antigas, como o ARToolKit, que tradicionalmente dependem de webcams e marcadores, ou à necessidade de maior poder de processamento para certas simulações.

6.4. QA4. Quais tecnologias e linguagens de programação são utilizadas para desenvolver essas ferramentas?

No cenário de desenvolvimento de ferramentas de RA e RV para o ensino de Ciências e Biologia, observa-se a utilização de um ecossistema tecnológico diversificado. As linguagens de programação e as tecnologias de suporte atuam em diferentes camadas, desde a criação de ambientes 3D até a interatividade e a compatibilidade com dispositivos.

A linguagem C# emerge como uma das mais recorrentes, sendo a espinha dorsal para projetos desenvolvidos na Unity. Como um motor de jogo robusto e versátil, o Unity (1, 3, 5, 9 e 13) permite a construção de ambientes 3D imersivos e a lógica interativa necessária para aplicações de RA e RV. O C# é a linguagem preferencial para escrever scripts que controlam o comportamento dos objetos virtuais, a interação do usuário e a integração com SDKs de RA como o Vuforia (1, 12, 13) e o Google AR Core (3).

Para o desenvolvimento de aplicações móveis ou plugins de RA, as linguagens Java e Kotlin (1, 2, 3, 4, 8, 9, 12, 13 e 14) foram amplamente empregadas no ambiente Android, enquanto Swift e Objective-C (6, 7, 8 e 9) foram as escolhas para o ecossistema iOS.

A tríade HTML, CSS e JavaScript é fundamental para o desenvolvimento web. Frameworks como o jQuery Mobile (14), embora mais antigos, demonstram a capacidade de construir interfaces de usuário responsivas baseadas na web, que podem ser empacotadas como aplicativos móveis através de ferramentas como o Cordova Plugin Kit (4). Essa abordagem permite que o conteúdo de RA, fornecido por SDKs como o Wikitude (4 e 14), seja integrado a uma interface de usuário familiar e acessível via navegador ou aplicativo híbrido. Além disso, as Google Maps API (14) e outras APIs web são acessadas via JavaScript para adicionar funcionalidades baseadas em localização.

Complementando o desenvolvimento de software, softwares de modelagem 3D como o Blender (1 e 5) foram identificadas como ferramentas para a criação de modelos 3D de alta qualidade, que são posteriormente importados para motores de jogo como o Unity. Esses modelos representam desde estruturas moleculares complexas até órgãos anatômicos e animais, que ganham vida nas experiências de RA e RV.

Além das linguagens e ferramentas principais, serviços cognitivos como o IBM Watson Speech Services (10 e 15) adicionam uma camada de inteligência artificial,

permitindo interação por voz que enriquecem a experiência do usuário e tornam o aprendizado mais interativo e acessível. Ferramentas auxiliares como o Bootstrap (14) e o formato de dados JSON (4) também são componentes comuns que otimizam o design da interface e a troca de informações.

6.5. QA5. Como evoluiu o uso de RA no ensino de Ciências e Biologia ao longo dos anos?

A RA tem transformado o ensino de Ciências e Biologia de forma notável nos últimos anos, e essa evolução pode ser compreendida através de três eixos principais que marcam sua crescente integração e eficácia pedagógica.

Primeiramente, a Realidade Aumentada (RA) na educação tornou-se mais acessível devido à popularização dos smartphones e à disponibilidade de ferramentas de desenvolvimento gratuitas e de baixo custo (10 e 15). Isso permitiu que a RA antes restrita a laboratórios caros, fosse implementada em escolas públicas e ambientes com recursos limitados, democratizando seu uso (1, 3, 5, 9 e 13).

Em segundo lugar, a evolução da RA no ensino é marcada pela adoção de abordagens pedagógicas integradas, com um crescimento notável no uso de modelos educacionais que fundamentam o design e a implementação das experiências de RA. Modelos como o ARCS (12), ADDIE (2), TAM (14) e Felder-Silverman (13) passaram a guiar o planejamento do uso da tecnologia, o que aponta para um afastamento de meras demonstrações tecnológicas para um uso intencional e planejado da RA, garantindo que as aplicações apoiem objetivos educacionais e melhorem os resultados de aprendizagem.

Por fim, essa trajetória demonstrou consistentemente benefícios tangíveis no ensino-aprendizagem, aumentando o engajamento e a motivação dos alunos por meio da interatividade e visualização 3D. A RA também se mostrou eficaz na visualização de conceitos abstratos, como a estrutura molecular do DNA (10, 13, 15) ou o funcionamento de sistemas biológicos (1, 3, 12), tornando o invisível ou o difícil de imaginar em algo concreto e manipulável. Além disso, a tecnologia estimula a aprendizagem ativa e investigativa, convidando os alunos a explorar, e apoia a inclusão educacional, oferecendo novas formas de acesso ao conteúdo para diversos perfis de aprendizes.

7. Considerações Finais

Esta pesquisa evidenciou o crescente interesse e desenvolvimento de soluções baseadas em RA para o ensino de Ciências e Biologia no ensino fundamental e médio. As ferramentas identificadas demonstram diversidade quanto às tecnologias e dispositivos utilizados, com destaque para o uso de smartphones e o motor de desenvolvimento Unity 3D, além da presença de modelos pedagógicos que orientam a construção de experiências mais engajadoras e alinhadas aos objetivos de aprendizagem.

As áreas da Biologia mais contempladas foram aquelas que apresentam maior grau de abstração, como Biologia Celular, Anatomia e Fisiologia Humana, reforçando a hipótese de que a RA pode ser um recurso eficaz para facilitar a visualização de estruturas complexas e fomentar o interesse dos estudantes. Além disso, identificou-se uma tendência de democratização da RA por meio de ferramentas acessíveis, permitindo sua inserção em contextos escolares diversos.

Como trabalho futuro, pretende-se uma solução educacional que integra repositório de imagens, geração de QR codes e aplicação móvel com suporte a RA. O intuito é viabilizar experiências imersivas com baixo custo, atendendo às demandas da educação básica por recursos didáticos inovadores. Com potencial de expansão para trilhas temáticas, certificação de atividades e articulação com currículos escolares, o sistema representará uma proposta concreta de mediação entre tecnologia, conteúdo e aprendizagem significativa.

Além disso, propõe-se a aplicação da ferramenta proposta em contextos escolares reais, com avaliação de seu impacto no engajamento e no desempenho dos estudantes, bem como a ampliação da base de conteúdos disponíveis. Espera-se que esta iniciativa contribua para consolidar a RA como uma ferramenta pedagógica efetiva e inclusiva, alinhada às necessidades da educação contemporânea.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) pelo incentivo à pesquisa científica e pela concessão de bolsa de iniciação tecnológica.

Referências

- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. "Presence: Teleoperators & Virtual Environments", 6(4), 355–385. Disponível em: <https://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> Acesso em: 3 jun. 2025.
- Azzahra, W., Diana, S., e Nuraeni, E. (2024). "Integration of Augmented Reality (AR) in Biology Education: A Systematic Literature Review". The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences, 34, 61–70 https://www.researchgate.net/publication/382451157_Integration_of_Augmented_Reality_AR_in_Biology_Education_A_Systematic_Literature_Review
- Carvalho, M. C. P. de; Sousa, A. de J.; Fraiha-Martins, F. (2022) "Realidade Aumentada como ferramenta tecnológica na Formação de professores de Ciências". Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico, Manaus, Brasil, v. 8, n. :, p. e197122, 2022. DOI: 10.31417/educitec.v8.1971. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/view/1971> Acesso em: 6 jun. 2025.
- Davis, F. (1989). "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology". MIS Quarterly, 13(3), 319–340. Disponível em : https://www.researchgate.net/publication/200085965_Perceived_Usefulness_Perceived_Ease_of_Use_and_User_Acceptance_of_Information_Technology. Acesso em: 2 jun. 2025.
- Faria, A.; Miranda, G. L. (2023) "Efeitos da realidade aumentada na aprendizagem das ciências naturais: uma revisão sistemática da literatura". Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação, n. 50, p. 44–57. DOI: 10.17013/risti.50.44–57. Disponível em: <https://scielo.pt/pdf/rist/n50/1646-9895-rist-50-44.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2025
- Faria, A.; Miranda, G. L. (2024). "Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis". Emerging Science Journal, 8(4), 1666–1685

- <https://www.ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/2548/pdf> Acesso em: 2 jun. 2025.
- Ferreira, C. E. A.; Mazon, J.; Pozzebon, E.; Okada, A. .; Costa, A. M. (2022) “Augmented Reality to support Science education in the context of the Covid-19 pandemic: a case study”. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 12, p. e503111234826. DOI: 10.33448/rsd-v11i12.34826. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34826> . Acesso em: 7 jun. 2025.
- Ferreira, G.; Pereira, S. (2020) “Realidade aumentada e ensino de Ciências da Natureza através de uma experiência interdisciplinar”. In: CONGRESSO INTERNACIONAL ABED DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA – CIAED, 26. Anais [...]. [S.l.]: ABED, 2020. DOI: 10.17143/ciaed.XXVICIAED.2020.53540. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/download/1971/868/10443> Acesso em: 6 jun. 2025.
- Ferreira, P. H. da S.; Zorzal, E. R. (2018) “Aplicação de Realidade Aumentada para Apoiar o Ensino do Sistema Solar”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 29., 2018, Fortaleza. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação. p. 1784–1787. Disponível em: <http://milanesa.ime.usp.br/rbie/index.php/sbie/article/view/8151>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- Keller, J. M. (2010) “Motivational design for learning and performance: the ARCS model approach”. Boston: Springer. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285985052_Motivational_Design_for_Learning_and_Performance_The_ARCS_Model_Approach Acesso em: 2 jun. 2025.
- Kitchenham, B., Charters, S. (2007) “Guidelines for performing systematic literature reviews in Software Engineering”. Citeseer.
- Nakagawa, E. Y., Scannavino, K. R. F., Fabbri, S. C. P. F., Ferrari, F. C. (2017) “Revisão sistemática da literatura em engenharia de software: teoria e prática”. Elsevier Brasil.
- Oliveira, L. A. F. de; Pinto, A. das N.; Pagel, C. H.; Barwaldt, R.; Silveira, D. da S. (2024). “Tecnologia Emergente: uma Revisão Sistemática no Ensino de Biologia Sobre o Uso da Realidade Aumentada”. *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 546–552. DOI: 10.17921/2447-8733.2023v24n4p546-552. Disponível em: <https://revistaensinoeducacao.pgsscogna.com.br/ensino/article/view/10624> Acesso em: 7 jun. 2025.
- Rukmini, D., Sofwan, A., Fauziati, E., Nurkamto, J. (2023) “Artificial intelligence in education: Exploring students’ perceptions in Indonesian higher education”. *Raden Mas: Jurnal Pendidikan Dasar*, v. 4, n. 2, p. 94–106. DOI: 10.22219/radenmas.v4i2.32636. Disponível em: <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/raden/article/view/32636>. Acesso em: 3 jun. 2025.
- Tori, R.; Kirner, C.; Siscoutto, R. (2006) “Fundamentos e tecnologia da realidade virtual e aumentada”. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação.