



A REALIDADE VIRTUAL E A REALIDADE AUMENTADA NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

VIRTUAL REALITY (VR) AND AUGMENTED REALITY (AR) IN ENGINEERING EDUCATION

Luciano Andreatta-da-Costa¹, Marcondes Moreira de Araújo²,
José Vicente Lima Robaina³

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v44p439-460.2025

RESUMO: Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica internacional sobre o uso da Realidade Virtual (RV) e da Realidade Aumentada (RA) na Educação em Engenharia (EE). Foram selecionados 22 estudos empíricos de alta relevância, publicados em língua inglesa nos últimos cinco anos e disponíveis na base *Web of Science*. O processo de seleção utilizou os descritores "Realidade Virtual", "Realidade Aumentada" e "Educação em Engenharia". A partir da análise desses estudos, são descritos os aspectos positivos, as críticas, os resultados inconclusivos e os resultados insatisfatórios. A revisão revela um cenário dinâmico e complexo: embora os estudos apontem benefícios, como maior engajamento, motivação e compreensão de conceitos complexos, também destacam desafios e incertezas quanto à implementação e à eficácia dessas tecnologias, como a ainda limitada aceitação pelos discentes, as dificuldades práticas de aplicação e a baixa utilização decorrente da falta ou insuficiência de infraestrutura. A RV e a RA se configuram como tecnologias promissoras para a Educação em Engenharia, mas a adoção eficaz destas requer uma abordagem cuidadosa e baseada em evidências. É fundamental considerar tanto os benefícios quanto os desafios, investir em pesquisas adicionais, desenvolver estratégias pedagógicas adequadas, capacitar educadores e garantir infraestrutura apropriada, de modo a potencializar o impacto dessas tecnologias na formação de futuros engenheiros.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Virtual; Realidade Virtual e Aumentada; metaverso; Educação em Engenharia.

ABSTRACT: This paper presents an international literature review on the use of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) in Engineering Education. Twenty two highly relevant empirical studies published in English over the past five years and indexed in the *Web of Science* database were selected. The selection process employed the descriptors "Virtual Reality," "Augmented Reality," and "Engineering Education". Based on the analysis of these studies, the paper discusses the positive aspects, criticisms, inconclusive findings, and unsatisfactory results reported in the literature. The review reveals a dynamic and complex landscape: while the studies highlight benefits such as increased engagement, motivation, and understanding of complex concepts, they also identify challenges and uncertainties regarding the implementation and effectiveness of these technologies, including limited student acceptance, practical difficulties in application, and low adoption rates due to insufficient infrastructure. VR and AR emerge as promising technologies for Engineering Education; however, their effective adoption requires a careful and evidence-based approach. It is essential to consider both benefits and challenges, invest in further research, develop appropriate pedagogical strategies, provide training and support for educators, and ensure adequate infrastructure to enhance their impact on the education and training of future engineers.

KEYWORDS: Virtual Reality; Virtual and Augmented Reality; metaverse; Engineering Education.

¹ Prof. Dr. Adjunto na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, andreatta.luciano@gmail.com

² Analista pleno sênior em C&T&I atuando no Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências (PPgECi) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), mmaraujo@mcti.gov.br

³ Prof. Dr. Adjunto na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), joserobaina1326@gmail.com



INTRODUÇÃO

Há mais de uma década, Tonini (2011) problematizou quais seriam os principais desafios, bem como os meios pedagógicos e tecnológicos necessários, no contexto brasileiro, para uma formação do engenheiro que fosse generalista, contextualizada e socialmente responsável, capaz de atender a evolução das demandas e o desenvolvimento das competências exigidas pelo imperativo da inovação, em uma sociedade e economia 4.0 em acelerada transformação digital.

A disponibilidade e a qualificação de engenheiros são fatores essenciais para que o Brasil supere seus desafios de desenvolvimento e concretize seu vasto potencial (CNI, 2015; ABENGE, 2018). Nesse contexto, em 24 de abril de 2019, o Conselho Nacional de Educação (CNE) aprovou a Resolução nº 2, que "instituiu as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia – DCN" (Brasil, 2019a). Previstas para ser implementadas gradualmente ao longo de três anos, essas diretrizes visam tornar os currículos e as práticas formativas mais flexíveis, interdisciplinares e alinhados às novas tecnologias. Com a pandemia da Covid-19 e, conseqüentemente, com o Ensino Remoto Emergencial, adotado entre 2020 e 2022, o uso das tecnologias digitais educacionais foi acelerado.

No contexto brasileiro, as disciplinas com maior reprovação nas engenharias são disciplinas dos primeiros semestres, em especial aquelas que envolvem Matemática, Física e Química (Passos *et al.*, 2007). Especialistas concordam com a necessidade de as escolas de Engenharia brasileiras se atualizarem, de forma que seus cursos atendam às demandas sociais, tecnológicas, econômicas e ambientais (IE/USP, 2018).

Segundo Gonzales (2016), as tecnologias acessíveis, como *hardware* e *software* descomplicados, as impressoras 3D de custo reduzido, as linguagens de programação mais simples e as simulações em ambiente virtual passaram a impactar as práticas educacionais e os espaços físicos de ensino-aprendizagem. Alunos de cursos de Engenharia que iniciam disciplinas utilizando Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) tendem a apresentar maior motivação e a desenvolver uma compreensão mais ampla dos elementos essenciais da complexidade e interdependência, presentes nas competências exigidas do engenheiro (ABENGE, 2018). Corroborando essa argumentação, Campani, Nascimento e Silva (2021) relatam que a inovação pedagógica é um processo educativo de tensionamento, desequilíbrio, conflito e ruptura com as formas existentes de exclusão e homogeneização cultural. Assim, a docência universitária deve criar novas formas



de produção e relação com o conhecimento, transcendendo a condição solitária e expositiva para um diálogo e produção de vanguarda do saber de experiência digital e *on-line*.

Essas lacunas e desafios despertam crescente interesse acadêmico para a pesquisa educacional na área das novas tecnologias digitais na Educação em Engenharia, visando melhor conhecer suas implicações e o aperfeiçoamento da concepção, conteúdos, práticas e impactos desses ambientes virtuais imersivos nos processos de ensino e aprendizagem (Nunes, 2014).

Nesse sentido, registre-se que, a partir de 2018, os censos da Educação Superior e da Educação a Distância (Brasil, 2019b; ABED, 2019) demonstram aumento na oferta, nas matrículas e no uso *on-line* de sistemas interativos em cursos presenciais, semipresenciais e a distância. A tendência se acelerou a partir de 2020 com a pandemia da Covid-19. Todavia, segundo a ABED (2019), tal mudança precisa garantir que a tecnologia adotada cumpra o objetivo a serviço da aprendizagem, e não o contrário.

A RV e a RA na Educação em Engenharia

Soliman *et al.* (2021), ao investigarem aplicações da Realidade Virtual (RV) na Educação em Engenharia (EE), argumentam e evidenciam, por meio de vasta revisão de bibliografia, que a RV é uma excelente ferramenta na EE. Ainda, afirmam que o avanço da tecnologia de RV, por meio do aumento da capacidade de processamento e da redução do custo e do fator de forma, induziu o interesse da pesquisa e do mercado para a educação e treinamento, capacitação, além do setor de jogos.

Esses autores deduzem que a RV tem benefícios cognitivos e pedagógicos, o que, em última análise, melhora a compreensão dos alunos sobre as matérias, o desempenho, as notas e a experiência educacional. Também evidenciam que o uso da RV como substituta ou como complementação dos laboratórios físicos gera benefícios que se estendem à universidade/instituição em termos de redução de responsabilidade, infraestrutura e custo. Elencam benefícios adicionais de experiência educacional para os alunos com necessidade especial, bem como do ensino a distância sem acesso aos laboratórios físicos. Além disso, destacam que as análises recentes identificaram que as aplicações de RV para a educação, atualmente, não integram em seu desenho as teorias e objetivos de aprendizagem. Por isso, selecionaram as teorias de aprendizagem construtivista e de variação como adequadas à EE.



Da Silva *et al.* (2023) abordam o uso da Realidade Aumentada (RA) dirigida ao ensino das disciplinas da Engenharia Mecânica a partir de uma revisão bibliográfica em artigos presentes nas bases de dados Google Acadêmico, Scielo e CAPES. Os autores afirmam o potencial da RA em mitigar a dificuldade, comum entre os discentes, relativa à visualização tridimensional de elementos representados de forma bidimensional. Além disso, destacam a necessidade de uma prévia qualificação dos docentes responsáveis pelas disciplinas para facilitar de maneira adequada o processo de construção do conhecimento pelos educandos. Concluem que o uso da RA potencializa significativamente o ensino nesse campo, apresentando uma maior e mais abrangente compreensão dos conteúdos relacionados à Engenharia Mecânica, destacando-se sua viabilidade de uso.

Embora já difundidas em países de economia avançada, no Brasil, por sua vez, o emprego das ferramentas de RV e RA na formação em Engenharia ainda se encontra em fase inicial. São poucas as escolas e cursos de Engenharia no país que usam ferramentas de RV-RA em sua grade curricular regular. Mesmo com casos conhecidos de seu uso na capacitação profissional continuada, como é o caso do SENAI-CIMATEC/BA e IEN-CNEN/RJ, quando se trata do ambiente educacional tradicional da educação e formação acadêmica em Engenharia, pouco ainda se conhece sobre as práticas, os desafios e os impactos dessas tecnologias de vanguarda.

Portanto, essas abordagens e desafios das transformações tecnológicas digitais – na educação como um todo e na EE em particular – reforçam a necessidade de mais pesquisas no âmbito acadêmico para uma melhor compreensão da transformação na EE para o aumento da produtividade e da competitividade econômica nacional diante da forte competição internacional.

A adoção de tecnologias imersivas, como a RV e a RA, tem se mostrado uma tendência crescente no cenário educacional mundial, incluindo a EE. Essas tecnologias facilitam o engajamento e a compreensão de conceitos complexos, oferecendo oportunidades para aprimorar o processo de aprendizagem, proporcionando experiências práticas e interativas que podem complementar ou, em alguns casos, substituir os métodos tradicionais de ensino. A RV permite ao educando imersão em ambientes simulados, enquanto a RA permite a sobreposição de elementos virtuais ao mundo real. Ambas oferecem, pois, um potencial significativo para transformar a Educação em Engenharia no Século XXI.

Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo identificar o potencial da utilização dessas tecnologias para a EE, tendo como fonte de pesquisa a literatura



internacional, tendo em vista o uso ainda incipiente desses recursos na realidade nacional.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica, de abrangência internacional, por meio da seleção de artigos publicados em língua inglesa nos últimos cinco anos, disponíveis na base *Web of Science* (WoS), sobre a aplicação da RV e da RA na EE. Utilizou-se o título dos artigos como filtro para a busca, considerando-se o período de 2021 a 2025, a partir dos operadores a seguir:

"Augmented Reality" AND "Engineering Education"

OR

"Virtual Reality" AND "Engineering Education"

Além disso, foram incluídos os seguintes critérios de refino:

- i) idioma: Inglês;
- ii) categorias do WoS: *Education Scientific Disciplines OR Education Educational Research OR Engineering Multidisciplinary OR Computer Science Interdisciplinary Applications OR Engineering Chemical*;
- iii) áreas de pesquisa: *Education Educational Research OR Engineering OR Computer Science OR Science Technology Other Topics*;
- iv) Open Access;
- v) Tipos de documento: *Article OR Proceeding Paper OR Review Article*.

A partir dos critérios listados acima, foram obtidos 24 resultados. Porém, dois foram descartados por não estarem no escopo desta pesquisa. Os artigos resultantes desses estudos investigam a eficácia e a aceitação da RV-RA no contexto da EE, com o objetivo de apresentar um panorama abrangente das pesquisas realizadas na área, destacando os benefícios, as limitações e as diferentes abordagens metodológicas empregadas. Para isso, os estudos foram organizados em três categorias principais, com base nos resultados e nas conclusões apresentadas: (1) estudos que relatam predominantemente resultados positivos e elogios ao uso de RV-RA; (2) estudos que apresentam uma visão mista,



com elogios e críticas, ou resultados inconclusivos, do uso de RV-RA; e (3) estudos que destacam críticas ou resultados insatisfatórios do uso de RV-RA na EE.

A análise e discussão dos estudos empíricos aqui apresentados permitirá uma compreensão mais aprofundada dos impactos da RV-RA na EE, considerando-se a realidade e o contexto em que foram desenvolvidos, fornecendo subsídios valiosos para educadores, pesquisadores, desenvolvedores de tecnologias educacionais e, em última análise, para educandos, alunos como beneficiários finais de seu uso. Além disso, a discussão sobre os diferentes enfoques metodológicos e sobre os resultados obtidos apresenta contribuição para o avanço das pesquisas na área, direcionando futuros estudos e promovendo a adoção de teorias e práticas pedagógicas mais eficazes.

RESULTADOS SOBRE O USO DA RV-RA NA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA

Esta seção está dividida em cinco partes. Na primeira, são feitas considerações acerca dos métodos utilizados pelos estudos analisados, assim como são indicadas as suas possíveis limitações. Nas subseções seguintes, são apresentados, respectivamente, os aspectos positivos, os resultados inconclusivos e os resultados insatisfatórios. Por fim, na quinta e última subseção, é apresentada uma súmula da análise realizada nos 22 artigos.

Considerações sobre as metodologias e as limitações dos estudos analisados

São apresentadas, a seguir, as diferentes abordagens metodológicas empregadas nos estudos analisados, bem como as limitações inerentes a essas pesquisas. Uma compreensão crítica desses aspectos é fundamental para avaliar a validade e a generalização dos resultados obtidos, bem como para direcionar futuras pesquisas na área.

Estudos de caso: muitos estudos utilizam a abordagem de estudo de caso, analisando a implementação da RV ou da RA em um contexto específico, como um curso ou disciplina em particular (Han, Weeks e Leite, 2023; Pérez-Martín *et al.*, 2024; Rukangu e Tuttle, 2021). Essa abordagem permite uma análise aprofundada dos efeitos da tecnologia em um ambiente controlado, mas pode ter sua generalização limitada a outros contextos.



Quasi-experimentos: alguns estudos adotam desenhos quasi-experimentais, comparando o desempenho ou a percepção de alunos expostos à RV ou à RA com aqueles que seguem métodos tradicionais de ensino (Ghazali *et al.*, 2024; Anjos *et al.*, 2024; Al-Khiami *et al.*, 2024). Embora esses estudos permitam um maior controle sobre as variáveis do que os estudos de caso, eles ainda podem ser suscetíveis a vieses de seleção e a outros fatores que interferem nos resultados.

Revisões sistemáticas e meta-análises: para obter uma visão mais abrangente do impacto da RV e da RA, alguns estudos realizam revisões sistemáticas da literatura existente ou meta-análises de estudos empíricos (Asham, Bakr e Emadi, 2023; Zhang *et al.*, 2024b; Yang *et al.*, 2024). Essas abordagens permitem a síntese de resultados de múltiplos estudos, aumentando o poder estatístico e a generalização das conclusões. No entanto, a qualidade e a comparabilidade dos estudos incluídos podem afetar a validade dos resultados.

Estudos bibliométricos: alguns estudos utilizam análises bibliométricas para investigar as tendências de pesquisa e o desenvolvimento da RV na EE (Rafiq *et al.*, 2024). Embora essa abordagem forneça subsídios valiosos sobre a evolução do campo, ela não avalia diretamente a eficácia ou a aceitação da tecnologia.

Pesquisas e questionários: muitos estudos coletam dados por meio de pesquisas, questionários ou entrevistas com alunos e professores para avaliar suas percepções, atitudes e experiências com a RV e com a RA (Udeozor *et al.*, 2021; Vergara *et al.*, 2025; Arif, 2021; Alshqirate e Al-Dassean, 2021). Embora esses métodos permitam a coleta de dados sobre a experiência subjetiva dos usuários, eles estão sujeitos a vieses de resposta e podem não refletir com precisão o impacto da tecnologia no aprendizado.

Apesar da diversidade de abordagens metodológicas, os estudos analisados apresentam algumas limitações comuns:

Tamanho da amostra: muitos estudos têm tamanhos de amostra relativamente pequenos, o que pode limitar o poder estatístico e a



generalização dos resultados (Ghazali *et al.*, 2024; Han, Weeks e Leite, 2023; Rukangu e Tuttle, 2021).

Curto prazo: a maioria dos estudos avalia os efeitos da RV e da RA em um curto período, muitas vezes dentro de um único semestre ou curso. Isso dificulta a avaliação dos efeitos de longo prazo dessas tecnologias na construção de conhecimentos e habilidades, bem como no desempenho acadêmico (Zhang *et al.*, 2024b; Rauh e Orsolits, 2022).

Ausência de grupo de controle: alguns estudos não utilizam um grupo de controle, o que dificulta determinar se as melhorias observadas são de fato atribuíveis à RV ou à RA ou se seriam observadas com qualquer intervenção educacional (Pérez-Martín *et al.*, 2024; Arif, 2021).

Contexto específico: muitos estudos são conduzidos em contextos muito específicos, como um curso ou disciplina em particular, o que pode limitar a generalização dos resultados para outros contextos da EE (Farouk *et al.*, 2024; Strazzeri *et al.*, 2024).

Viés de publicação: é possível haver um viés de publicação, em que estudos com resultados positivos têm maior probabilidade de serem publicados do que aqueles com resultados negativos ou inconclusivos. Isso pode levar a uma superestimação da eficácia da RV e da RA.

Aspectos positivos

Os estudos apresentados a seguir evidenciam melhorias significativas no aprendizado dos discentes, como aumento do engajamento, maior motivação e uma experiência educacional mais rica e imersiva.

Aumento do engajamento e da motivação

Diversos estudos apontam para um aumento significativo no engajamento e na motivação dos alunos quando a RV e a RA são integradas ao processo de aprendizagem. Ghazali *et al.* (2024) destacam que a RV oferece uma experiência de visualização mais envolvente e imersiva, levando a uma maior compreensão do assunto, eliminando distrações externas e permitindo um melhor engajamento



com a lição. O estudo desses autores, centrado em um laboratório de RV chamado “Merlin's Playground” e realizado com um grupo de estudantes do primeiro ano de Engenharia Eletrônica, indica que o uso da RV impulsionou a compreensão dos alunos e as suas habilidades de resolução de problemas, o que refletiu em notas mais altas nas avaliações do final da disciplina em comparação com alunos de anos anteriores, que não utilizaram a RV.

Corroborando esses achados, Soliman *et al.* (2021) argumentam que a RV apresenta benefícios cognitivos e pedagógicos positivos na EE, melhorando a compreensão e o desempenho dos educandos sobre os conteúdos, bem como a experiência educacional como um todo. Além disso, os autores destacam que a RV pode reduzir a necessidade de investimento em infraestrutura e em laboratórios físicos e, portanto, reduzir custos para as universidades e instituições de ensino de engenharia.

Melhoria na compreensão e no desempenho

A aplicação da RV-RA também tem contribuído para uma melhoria na compreensão de conceitos complexos e no desempenho acadêmico dos educandos. Zhang *et al.* (2024a) realizaram uma revisão abrangente sobre a aplicação de tecnologias de Realidade Estendida (RE) no ensino de Ciências, Tecnologias, Engenharias e Matemática, a partir da qual concluíram que a RE, incluindo RV e RA, impulsiona a motivação dos estudantes, facilita o engajamento no aprendizado e melhora as habilidades dos alunos.

O estudo de Pérez-Martín *et al.* (2024) utilizou a RV como uma ferramenta de apoio ao aprendizado em um curso de Geomática em engenharia. Os resultados indicaram que o uso de RV no campo da Geomática pode ser um meio promissor de transmissão de novos conhecimentos e de melhorar a aquisição de conhecimento e competências. Os autores relatam um quasi-experimento envolvendo 170 alunos que mostrou que a RV permitiu uma melhor observação da metodologia a ser seguida em campo, contribuindo para uma maior compreensão dos procedimentos práticos.

Experiências imersivas e interativas

A natureza imersiva e interativa da RV-RA é frequentemente apontada como um dos principais fatores que contribuem para sua eficácia na EE. Han, Weeks e Leite (2023) conduziram um estudo de caso sobre a utilização da RV para a EE,



demonstrando que, quando associada à *gamificação* e ao *design* artístico, a RV pode proporcionar uma experiência imersiva capaz de educar o público em geral sobre conhecimentos de Engenharia Ambiental e sustentabilidade. Os participantes do estudo relataram percepções positivas sobre a experiência de aprendizagem, afirmando que a RV despertou sua curiosidade e o interesse em aprofundar os conceitos de sustentabilidade.

Em outro estudo, Asham, Bakr e Emadi (2023) realizaram uma revisão das aplicações de RA-RV no ensino em Engenharia Elétrica, a partir da qual concluíram que o uso dessas tecnologias está aumentando rapidamente e que elas são promissoras para o ensino remoto, imitando, ao máximo, ambientes reais de treinamento. Os autores recomendam a aplicação de RA-RV no ensino de Engenharia Elétrica e fornecem sugestões para pesquisadores e educadores que desejam aplicar essas tecnologias.

Resultados de mensuração e avaliações empíricas

Diversos estudos apresentam resultados quantitativos que corroboram a eficácia da RV-RA na EE. O estudo conduzido por dos Anjos *et al.* (2024) investigou o impacto do uso da RV na EE, comparando-o com métodos tradicionais. Os resultados demonstraram que os educandos que utilizaram a RV (Grupo Experimental) apresentaram resultados de aprendizagem significativamente melhores (média de 5,9747) em comparação ao grupo de controle (média de 4,6229), que apenas teve aulas tradicionais. A diferença entre os grupos foi de 29,2%. Os alunos do grupo experimental apresentaram mais construção de conhecimento, maior satisfação, bem como níveis superiores de engajamento e atratividade em comparação ao grupo de controle.

Al-Khiami *et al.* (2024) analisaram o impacto da RV na motivação e no desempenho de estudantes de engenharia, comparando, em um curso de estruturas de concreto, as abordagens com *Head Mounted Displays* (HMD-VR) e *Desktop Based VR* (DB-VR) aos métodos tradicionais de ensino. Os resultados indicaram que tanto a motivação quanto o desempenho foram significativamente maiores com o uso da RV em geral, especialmente quando empregada por meio de HMD-VR, a qual os alunos consideraram a abordagem mais fácil de usar. Além disso, o estudo revelou uma correlação inversa moderada entre a cinetose (*motion sickness*, condição que causa enjôo, náusea, tontura, vômito e mal-estar durante a movimentação) e a motivação, sugerindo que níveis maiores de cinetose estão associados a uma menor motivação.



Aplicações específicas e contextos de uso

Além dos benefícios gerais, a RV e a RA têm se mostrado eficazes em aplicações específicas dentro da Educação em Engenharia. Strazzeri *et al.* (2024) exploraram a integração da RV para aprimorar o ensino e a experimentação em engenharia com foco na termografia ativa. O estudo implementou interconexões entre simulações de engenharia, experimentos do mundo real e a RV, sendo os resultados integrados a um jogo de RV desenvolvido na plataforma "Unreal Engine 5.3.2". Os usuários puderam interagir com o ambiente, compreender as configurações termográficas, acessar vídeos instrucionais e analisar os resultados por meio de gráficos e animações. Essas experiências possibilitaram a determinação do cenário ideal para cada problema e a obtenção de resultados de forma mais rápida do que seria possível por meio de experimentação no mundo real.

Rukangu e Tuttle (2021) utilizaram a RV e a RA para construir e testar um laboratório prático remoto de robótica UR-10, permitindo que alunos trabalhassem em conjunto. O estudo ressaltou a adequação de diversas interfaces para facilitar o trabalho remoto em grupo e a instrução do corpo docente, abrindo caminhos para explorar as vantagens e limitações da realização de exercícios de laboratório colaborativos entre alunos de diferentes instituições, fusos horários e continentes.

Elogios, críticas e resultados inconclusivos

Apresenta-se, a partir de agora, uma seleção de estudos com uma perspectiva mais equilibrada, ou inconclusiva, que abrange benefícios e desvantagens do uso da RV-RA na EE. Essa abordagem mista reflete a grande complexidade da implementação dessas novas tecnologias no ambiente educacional da engenharia e destaca a necessidade de que seja estimulada a continuidade da pesquisa na área, realizando análises críticas e ponderadas sobre seus benefícios e limitações.

Potencial e desafios da implementação

Farouk *et al.* (2024) exploraram a viabilidade econômica da RV na educação em Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), reconhecendo o seu potencial para melhorar o engajamento do aluno e os resultados de aprendizagem. No entanto, o estudo também aponta que o custo de sua implementação é uma



preocupação significativa para as instituições de ensino, o que caracteriza um desafio a integração da tecnologia de RV.

A análise temática identificou aplicações de RV em várias categorias, incluindo plataformas de RV, treinamento de segurança em construção, simuladores de revisão de projeto, laboratórios de Engenharia Civil, integração de *Building Information Modeling* (BIM), *design* arquitetônico e engenharia de levantamento topográfico. Os resultados revelaram que o custo da RV varia de acordo com a aplicação, indicando que é possível implementá-la na educação nessas áreas, mesmo com um orçamento limitado.

Percepções e aceitação por diferentes grupos

Udeozor *et al.* (2021) investigaram as percepções do uso de jogos de RV para a educação e o treinamento profissional em Engenharia Química. O estudo descobriu que, embora tanto os discentes quanto os profissionais acreditassem que os jogos de RV fossem úteis para o aprendizado, os profissionais demonstraram maior aceitação da tecnologia em comparação com os discentes. Os alunos expressaram preocupações com o uso da tecnologia para o aprendizado em sala de aula, sugerindo uma possível resistência à adoção de novas tecnologias.

Vergara *et al.* (2025) analisaram a influência da geração digital de professores de Engenharia em suas avaliações do uso didático da RV. O estudo revelou que os professores nativos digitais relatam melhores habilidades do que os migrantes digitais; contudo, atribuem notas mais baixas aos aspectos didáticos da RV. Além disso, a influência da geração digital nas avaliações é fortemente dependente do gênero dos participantes. Os autores concluíram ser necessário aumentar o treinamento digital dos professores e fortalecer o acesso feminino às tecnologias, sugerindo projetar protocolos para promover o uso da RV de forma igualitária entre os gêneros, especialmente entre os migrantes digitais.

Limitações técnicas e pedagógicas

Arif (2021) explorou a aplicação da RV para a educação em gerenciamento de infraestrutura em Engenharia Civil. O estudo demonstrou que os alunos apresentam maior capacidade de concentração em ambientes de RV e que a experiência de RV é fácil e confortável de utilizar, além do seu aspecto cativante. Todavia, o estudo apontou uma limitação importante: para situações do mundo real, em que componentes danificados de estruturas costumam ficar ocultos, seria



necessário um mecanismo de modelagem diferente para expor tais danos. O estudo sugere que os modelos gerados por meio de varredura *Light Detection and Ranging* (LIDAR) podem compensar essa limitação.

Kumar *et al.* (2021) discutem as oportunidades e os desafios da incorporação da RV na educação em Engenharia Química e Bioquímica, com ênfase nas áreas fundamentais de tecnologia, pedagogia e economia social. O estudo enfatiza a necessidade de aumentar as interfaces de RV com modelos matemáticos para desenvolver aplicativos avançados de aprendizagem imersiva e destaca a necessidade de novas metodologias de avaliação de impacto educacional para a aprendizagem baseada em RV. Embora reconheça o potencial da RV, o estudo também identifica gargalos na adoção dessas ferramentas na educação em Engenharia Química e Bioquímica.

Necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento

Zhang *et al.* (2024b) desenvolveram um sistema de laboratório virtual baseado em WebVR, que permite aos usuários ter a experiência simulada de um ambiente de laboratório por meio de um dispositivo de RV e interagir com o equipamento experimental. Embora o estudo forneça uma solução de um laboratório virtual baseado em WebVR para educação e treinamento, os autores reconhecem a necessidade de mais pesquisas para aprimorar a experiência do usuário e a eficácia pedagógica.

Resultados inconclusivos ou mistos

Rauh e Orsolits (2022) investigaram as perspectivas sobre a RV no ensino superior para robótica e disciplinas de engenharia. Embora o estudo tenha revelado que os participantes tinham uma atitude positiva em relação à RV e uma forte motivação para seu uso em sala de aula, os autores também sugerem a criação de conteúdo de RV e sua inclusão nos currículos de Engenharia, indicando uma possível lacuna entre a percepção positiva e a implementação prática.

Críticas e resultados insatisfatórios

Esta subseção aborda os estudos que apresentam críticas mais contundentes ou que relatam resultados insatisfatórios na experimentação com o uso de RV e RA na EE. A análise dessas perspectivas é fundamental para identificar as limitações e



os desafios associados a essas tecnologias, fornecendo subsídios importantes para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de integração e aprimoramento da experiência e aprendizagem dos usuários.

Desafios na aceitação e adaptação

Li *et al.* (2023) apresentam os pontos fortes e as limitações de cursos baseados em RV no Ensino em Engenharia, utilizando um estudo de caso na área de espectroscopia Raman. Embora o estudo tenha demonstrado que a RV pode ser utilizada como uma referência essencial para a reforma da Educação em Engenharia e ser um modelo confiável para o desenvolvimento sustentável da educação, os autores também relatam que 85% dos alunos acharam difícil aceitar o curso baseado em RV a curto prazo. Apesar disso, 90% dos alunos ou mais reconheceram esse novo modelo de ensino, acreditando que o curso baseado em RV muda seus hábitos tradicionais de aprendizagem e ajuda a cultivar a capacidade de autoaprendizagem (Li *et al.*, 2023). Esses resultados sugerem que, embora a RV possa ter benefícios a longo prazo, sua adaptação inicial pode ser um desafio para os discentes.

Limitações na implementação prática

Huang e Roscoe (2021) realizaram uma revisão de pesquisas recentes sobre sistemas de RV baseados em *Head-Mounted Display* (HMD) na Educação em Engenharia. Embora a RV com HMD tenha o potencial de motivar os alunos a aprender, a revisão revela que a maioria dos estudos é conduzido em ambiente de laboratório de pequena escala. Os autores recomendam que os pesquisadores explorem mais os métodos de uso da RV com HMD para facilitar a formação continuada, especialmente para a recolocação de profissionais engenheiros no mercado de trabalho. Isso sugere que a implementação prática da RV em contextos mais amplos e diversificados ainda enfrenta desafios.

Ausência de evidências concretas de melhoria

Bönsch *et al.* (2024) abordam a integração prática do gerenciamento do ciclo de vida do produto (PLC), projeto auxiliado por computador (CAD), realidade estendida (RED) e inteligência artificial (IA) na EE. Apesar do estudo revisar estratégias de ensino e compará-las com iniciativas globais, destacando o



impacto transformador do currículo na preparação de futuros engenheiros para ambientes industriais complexos, não apresenta evidências concretas de melhorias significativas no aprendizado dos alunos ou na eficácia do método em comparação com as abordagens tradicionais.

Necessidade de mais investigações empíricas

Rafiq *et al.* (2024) realizaram um estudo bibliométrico, de 2012 a 2022, sobre o potencial da pesquisa e do desenvolvimento da RV na EE. Embora o estudo tenha apontado que a RV tem o potencial de aumentar os resultados de aprendizagem do aluno na EE, os autores enfatizam que a educação baseada em RV não é comumente usada e que seu potencial de pesquisa enfatiza a necessidade de mais investigações empíricas para determinar seus efeitos de longo prazo no desempenho acadêmico do educando. Isso indica que, apesar do potencial teórico, ainda faltam evidências empíricas sólidas para sustentar a adoção generalizada da RV na EE.

Baixa utilização e insuficiência ou falta de infraestrutura

Alshqirate e Al-Dassean (2021) investigaram as percepções e atitudes de membros do corpo docente de Instituições de Ensino Superior jordanianas em relação ao uso da RV no ensino de experimentos práticos de engenharia. Os resultados mostraram uma baixa porcentagem de uso da RV devido à escassez de infraestrutura, como equipamentos, *hardware* e *software*, além da indisponibilidade de cursos de treinamento para membros do corpo docente e supervisores de laboratório. Os resultados também revelaram percepções positivas sobre a importância da RV no ensino a distância e atitudes negativas na adoção da RV como um método alternativo de ensino de experimentos de engenharia.

Súmula da análise dos estudos empíricos selecionados

A análise dos 22 artigos selecionados sobre a aplicação da RV e da RA na EE revela um panorama complexo (ver Tabela 1), em permanente evolução, e multifacetado. Enquanto a maioria aponta para os benefícios potenciais dessas tecnologias, como o aumento do engajamento, da motivação e da compreensão de conceitos complexos, também emergem incertezas, críticas e desafios



significativos relacionados à implementação e à eficácia. Esse cenário pode ser resumido nos itens a seguir:

- i) os estudos que relatam resultados positivos destacam a capacidade da RV e da RA de criar experiências de aprendizagem imersivas e interativas, que podem, além de melhorar o desempenho acadêmico, transformar a EE. No entanto, é importante notar que muitos desses estudos são baseados em amostras pequenas, focam em contextos específicos e avaliam os efeitos dessas tecnologias em curto prazo;
- ii) os estudos que apresentam uma visão mais crítica ou resultados mistos e inconclusivos do uso da RV e da RA, embora reconheçam o potencial dessas tecnologias para aprimorar o aprendizado e o engajamento dos discentes, também apontam desafios significativos relacionados à custo de implementação, resistência a mudança por docentes e discentes, aceitação por diferentes grupos, limitações técnicas e pedagógicas e a necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento para validar a eficácia a longo prazo e em diferentes contextos;
- iii) os estudos que destacam críticas e resultados insatisfatórios encontrados na experimentação com o uso de RV e RA evidenciam os desafios na aceitação e adaptação pelos discentes, as limitações na implementação prática, a ausência de evidências concretas de melhoria em alguns casos, a necessidade de mais investigações empíricas e a baixa utilização devido à falta ou insuficiência de infraestrutura como fatores que contribuem para uma visão cética em relação ao uso educacional dessas tecnologias na engenharia. É importante considerar essas limitações e desafios para desenvolver estratégias mais eficazes de integração da RV e da RA no ambiente educacional, buscando maximizar seus benefícios e minimizar suas desvantagens.



Tabela 1 – Relação dos trabalhos analisados

Aspectos Positivos		
Ghazali <i>et al.</i> (2024)	Indica que o uso da RV impulsionou a compreensão dos alunos e suas habilidades de resolução de problemas.	Aumento do Engajamento e da Motivação
Soliman <i>et al.</i> (2021)	- Benefícios cognitivos e pedagógicos; - Reduz necessidade de investimentos em infraestrutura.	
Zhang <i>et al.</i> (2024b)	- Melhora motivação e engajamento dos estudantes	
Pérez-Martín <i>et al.</i> (2024)	Os resultados indicaram que o uso de RV no campo da Geomática pode ser um meio promissor de transmitir novos conhecimentos e melhorar a aquisição de conhecimento e competências.	Melhoria na Compreensão e no Desempenho
Han, Weeks e Leite (2023)	Quando associada à <i>gamificação</i> e ao <i>design</i> artístico, a RV pode proporcionar uma experiência imersiva capaz de educar o público em geral sobre conhecimentos de Engenharia Ambiental e sustentabilidade.	
Asham, Bakr e Emadi (2023)	Simulação de ambientes reais de treinamento.	
Anjos <i>et al.</i> (2024).	- Estudantes utilizando RV apresentaram resultados significativamente melhores.	Experiências Imersivas e Interativas
Al-Khiami <i>et al.</i> (2024)	Os resultados indicaram que tanto a motivação quanto o desempenho foram significativamente maiores com o uso da RV em geral, especialmente quando empregada por meio de HMD-VR, a qual os alunos consideraram a abordagem mais fácil de usar.	
Strazzeri <i>et al.</i> (2024)	Termografia ativa.	Aplicações Específicas e Contextos de Uso
Rukangu e Tuttle (2021)	Laboratório prático de robótica.	
Elogios, Críticas e Resultados Inconclusivos		
Farouk <i>et al.</i> (2024)	- BIM; - Custo de implementação.	Potencial e Desafios da Implementação
Udeozor <i>et al.</i> (2021).	Os alunos expressaram preocupações com o uso da tecnologia para o aprendizado em sala de aula, sugerindo uma possível resistência à adoção de novas tecnologias.	Percepções e Aceitação por Diferentes Grupos
Vergara <i>et al.</i> (2025).	Os autores concluíram ser necessário aumentar o treinamento digital dos professores e fortalecer o acesso feminino às tecnologias, sugerindo projetar protocolos para promover o uso da RV de forma igualitária entre os gêneros, especialmente, entre os migrantes digitais.	
Arif (2021)	Para situações do mundo real, em que componentes danificados de estruturas costumam ficar ocultos, seria necessário um mecanismo de modelagem diferente para expor tais danos. O estudo sugere que os modelos gerados por meio de varredura <i>Light Detection and Ranging</i> (LIDAR) podem compensar essa	Limitações Técnicas e Pedagógicas



	limitação.	
Kumar <i>et al.</i> (2021).	O estudo enfatiza a necessidade de aumentar as interfaces de RV com modelos matemáticos para desenvolver aplicativos avançados de aprendizagem imersiva.	
Zhang <i>et al.</i> (2024a).	Os autores reconhecem a necessidade de mais pesquisas para aprimorar a experiência do usuário e a eficácia pedagógica.	<i>Necessidade de Mais Pesquisas e Desenvolvimento</i>
Rauh e Orsolits (2022)	Possível lacuna entre a percepção positiva e a implementação prática.	<i>Resultados Inconclusivos ou Mistos</i>
Críticas e Resultados Insatisfatórios		
Li <i>et al.</i> (2023).	85% dos alunos acharam difícil aceitar o curso baseado em RV a curto prazo.	<i>Desafios na Aceitação e Adaptação</i>
Huang e Roscoe (2021)	Os autores recomendam que os pesquisadores explorem mais os métodos de uso da RV com HMD para facilitar a formação continuada, especialmente para a recolocação de profissionais engenheiros no mercado de trabalho. Isso sugere que a implementação prática da RV em contextos mais amplos e diversificados ainda enfrenta desafios.	<i>Limitações na Implementação Prática</i>
Bönsch <i>et al.</i> (2024)	Não apresenta evidências concretas de melhorias significativas no aprendizado dos alunos ou na eficácia do método em comparação com as abordagens tradicionais.	<i>Ausência de Evidências Concretas de Melhoria</i>
Rafiq <i>et al.</i> (2024)	Os autores enfatizam que a educação baseada em RV não é comumente usada e que seu potencial de pesquisa enfatiza a necessidade de mais investigações empíricas para determinar seus efeitos de longo prazo no desempenho acadêmico do educando.	<i>Necessidade de Mais Investigações Empíricas</i>
Alshqirate e Al-Dassean (2021)	Os resultados mostraram uma baixa porcentagem de uso da RV devido à escassez de infraestrutura, como equipamentos, <i>hardware</i> e <i>software</i> , além da indisponibilidade de cursos de treinamento para membros do corpo docente e supervisores de laboratório.	<i>Baixa Utilização e Insuficiência ou Falta de Infraestrutura</i>

Fonte: elaborada pelos autores.



IMPLICAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Para aprimorar a qualidade e a validade das pesquisas sobre a eficácia e a aceitação da RV e da RA no Ensino de Engenharia, é recomendável que futuros estudos:

- i) utilizem amostras maiores e mais diversificadas, incluindo alunos de diferentes instituições, cursos e níveis de ensino;
- ii) adotem projetos de pesquisa longitudinais para avaliar os efeitos de longo prazo da RV e da RA na construção do conhecimento, no desenvolvimento de habilidades e no desempenho acadêmico;
- iii) incluam grupos de controle para permitir comparações mais rigorosas entre a RV e RA e os métodos tradicionais de ensino;
- iv) realizem estudos em uma variedade de contextos de EE para aumentar a generalização dos resultados;
- v) combinem métodos quantitativos e qualitativos para obter uma compreensão mais completa do impacto da RV e da RA na experiência de aprendizagem dos alunos;
- vi) investiguem os fatores que influenciam a aceitação e a eficácia da RV e da RA, como características dos alunos, estilos de aprendizagem, desenho da interface do usuário e estratégias pedagógicas;
- vii) desenvolvam e validem instrumentos de avaliação específicos para medir os resultados de aprendizagem associados ao uso da RV-RA na EE.

CONCLUSÕES

Os estudos analisados na revisão bibliográfica realizada apresentam uma visão complexa e multifacetada dos resultados da integração da RV-RA na Educação em Engenharia. Embora reconheçam o potencial dessas tecnologias para aprimorar o aprendizado, a motivação e o engajamento dos discentes, também apontam desafios significativos relacionados à implementação, ao custo, à aceitação por diferentes grupos, a limitações técnicas e pedagógicas e à necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento.

Os estudos que fizeram parte desta revisão bibliográfica empregam abordagens metodológicas variadas, como estudos de caso, quasi-experimentos,



revisões sistemáticas, pesquisas e análises bibliométricas. Tal combinação se revela fundamental para uma compreensão abrangente dos impactos da RV e da RA na EE.

Em síntese, a RV e a RA representam tecnologias promissoras para aprimorar a EE, mas sua adoção generalizada e eficaz requer uma abordagem cuidadosa e baseada em evidências. É essencial que educadores, pesquisadores e instituições de ensino considerem não apenas seus benefícios potenciais, mas também os desafios e limitações associados a essas tecnologias. Investir em pesquisas adicionais, desenvolver estratégias pedagógicas adequadas, fornecer treinamento e suporte a professores e alunos e garantir a infraestrutura necessária são passos fundamentais para maximizar o impacto positivo da RV e da RA na formação de futuros engenheiros.

Uma perspectiva equilibrada é crucial para uma compreensão realista dos impactos da RV e da RA na EE, permitindo a educadores e a instituições planejar e tomar decisões bem fundamentadas sobre a adoção dessas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABED. Associação Brasileira de Educação a Distância. **Censo EAD.BR**: relatório analítico da aprendizagem a distância no Brasil 2018. Curitiba: InterSaberes, 2019. Disponível em: <https://www.abed.org.br>. Acesso em: 18 mar. 2023.
- ABENGE. Associação Brasileira de Educação em Engenharia. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação em Engenharia**. 2018. Disponível em: http://www.abenge.org.br/arquivos/Diretrizes_Curriculares_Abenge_2018.pdf. Acesso em: 15 mar. 2023.
- AL-KHIAMI, M. I. *et al.* Enhancing concrete structures education: Impact of virtual reality on motivation, performance and usability for undergraduate engineering students. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 40, n. 1, p. 306-325, 2024.
- ALSHQIRATE, A. A. S.; AL-DASSEAN, K. A. The Perceptions and Attitudes of Faculty Members at Jordanian Higher Education Institutions toward the use of Virtual Reality in Teaching Practical Engineering Experiments. **Proceedings... 2021 Innovation and New Trends in Engineering, Science and Technology Education Conference (IETSEC 2021)**, p. 36-41, 2021.
- ANJOS, F. E. V. *et al.* Boosting Engineering Education with Virtual Reality: An Experiment to Enhance Student Knowledge Retention. **Applied System Innovation**, v. 7, n. 50, p. 1-17, 2024.
- ARIF, F. Application of virtual reality for infrastructure management education in civil engineering. **Education and Information Technologies**, v. 26, n. 4, p. 3607-3627, 2021.
- ASHAM, Y.; BAKR, M. H.; EMADI, A. Applications of Augmented and Virtual Reality in Electrical Engineering Education: A Review. **IEEE Access**, v. 11, p. 134717-134738, 2023.

- BÖNSCH, J. *et al.* Virtual Engineering: Hands-on Integration of Product Lifecycle Management, Computer-Aided Design, eXtended Reality, and Artificial Intelligence in Engineering Education. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 96, n. 11, p. 1460-1474, 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Censo da Educação Superior 2018**: notas estatísticas. Brasília, DF: INEP, 2019b. Disponível em: <http://portal.inep.gov.br/web/guest/censo-da-educacao-superior>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Câmara de Educação Superior. Resolução CNE/CES nº 2, de 24 de abril de 2019. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 43, 26 abr. 2019a
- CAMPANI, A.; NASCIMENTO, N. V.; SILVA, R. M. G. Inovação Pedagógica, Docência Universitária e o Ensino Remoto Emergencial na Universidade: O Saber de Experiência na Docência. **RevistAleph**, n. 35, Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Educação, p. 125-143, 2021.
- CNI. Confederação Nacional da Indústria. **Recursos humanos para inovação**: engenheiros e tecnólogos. Brasília: CNI, 2014.
- DA SILVA, J. F. *et al.* A Utilização da Realidade Aumentada como Ferramenta Tecnológica no Processo de Ensino da Engenharia Mecânica. **Conexões - Ciência E Tecnologia**, 17, e022019, 2023.
- FAROUK, A. M. *et al.* Exploring the Economic Viability of Virtual Reality in Architectural, Engineering, and Construction Education. **Buildings**, v. 14, n. 9, p.2655, 2024.
- GHAZALI, A. K. *et al.* The usage of virtual reality in engineering education. **Cogent Education**, v. 11, n. 1, 2319441, p. 1-13, 2024.
- GONZALES, M. A. C. **Ferramenta para concepção, projeto e operação de espaços para ensino de engenharia que incentivem a criatividade e a inovação**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.
- HAN, B.; WEEKS, D. J.; LEITE, F. Virtual reality-facilitated engineering education: A case study on sustainable systems knowledge. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 31, n. 5, p. 1174-1189, 2023.
- HUANG, W.; ROSCOE, R. D. Head-mounted display-based virtual reality systems in engineering education: a review of recent research. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 29, n. 5, p. 1420-1435, 2021.
- IEA/USP. Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo – USP. **Proposta de Agenda para o Futuro**. São Paulo: Institutos de Estudos Avançados – Grupo de Trabalho a USP diante dos Desafios do Século XXI, 2018. Disponível em: http://www.iea.usp.br/publicacoes/textos/usp-proposta-de-agenda-para-o-futuro/at_download/file. Acesso em: 15 abr. 2023.
- KUMAR, V. V. *et al.* Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. **Education for Chemical Engineers**, v. 36, p. 143-153, 2021.
- LI, F. *et al.* Application of Sustainable Development of Teaching in Engineering Education: A Case Study of Undergraduate Course Design of Raman Spectroscopy Based on Virtual Reality (VR) Technology. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 1782, 2023.
- NUNES, E. P. S. **Um método para avaliar a aquisição de conhecimento em Ambientes Virtuais**, 2014. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.
- PASSOS, F. G. dos *et al.* Diagnóstico sobre a reprovação nas disciplinas básicas dos cursos de engenharia da UNIVASF. **Anais...** XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2007.



- PÉREZ-MARTÍN, E. *et al.* Using Virtual Reality in the Learning of Geomatic Engineering Education. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 44, n. 6, p. 77-88, 2024.
- RAFIQ, A. A. *et al.* Engineering Education's Potential for Virtual Reality Research and Development from 2012-2022: A Bibliometric Study. **Journal of Scientometric Research**, v. 13 n. 1, p. 317-332, 2024.
- RAUH, S. F.; ORSOLITS, H. Perspectives on Virtual Reality in Higher Education for Robotics and Related Engineering Disciplines. **Proceedings...** Robotics in Education (International Conference on Robotics in Education), RiE 2022, p. 39-51, 2022.
- RUKANGU, A.; TUTTLE, A. Virtual Reality for Remote Controlled Robotics in Engineering Education. 2021 **Proceedings...** IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW 2021), p. 751-752, 2021.
- SOLIMAN, M. *et al.* The Application of Virtual Reality in Engineering Education. **Applied Sciences**, v. 11, n. 6, 2879, p. 1-14, 2021.
- STRAZZERI, I. *et al.* Virtual Reality Integration for Enhanced Engineering Education and Experimentation: A Focus on Active Thermography. **Computers**, v. 13, n. 199, 2024.
- TONINI, A. M. O perfil do engenheiro contemporâneo a partir da implementação de atividades complementares em sua formação. **Anais...** VIII ENEDS, Ouro Preto, 2011.
- UDEOZOR, C. *et al.* Perceptions of the use of virtual reality games for chemical engineering education and professional training. **Higher Education Pedagogies**, v. 6, n. 1, p. 175-194, 2021.
- VERGARA, D. *et al.* Educational use of virtual reality technologies in engineering education: The impact of the digital generation of faculty. **Education and Inf Technology**, 2025.
- YANG, J. *et al.* Fostering the AR illusion: a study of how people interact with a shared artifact in collocated augmented reality. **Front. Virtual Real**, v. 5:1428765, 2024.
- ZHANG, Y. *et al.* Virtual and augmented reality in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: an umbrella review. **Information**, v. 15, n. 9, p. 515, 2024.
- ZHANG, G. *et al.* Online virtual reality networked control laboratory applied in control engineering education. **Journal of Visualized Experiments**, n. 204, 2024.