



doi 10.22633/rpge.v29iesp4.20765



Revista on line de Política e Gestão Educacional
Online Journal of Policy and Educational Management



UM ESTUDO SOBRE O EFEITO DA EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA XR E DA IMERSÃO DO PÚBLICO EM PALCOS VIRTUAIS DE SKETCHES ON-LINE PARA MELHOR COMPREENSÃO DOS ALUNOS

UN ESTUDIO SOBRE EL EFECTO DE LA EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA XR Y DE LA INMERSIÓN DEL PÚBLICO EN ESCENARIOS VIRTUALES DE SKETCHES EN LÍNEA PARA UNA MEJOR COMPRENSIÓN DE LOS ESTUDIANTES

A STUDY ON THE EFFECT OF XR TECHNOLOGY APPLICATION EFFICIENCY AND AUDIENCE IMMERSION IN VIRTUAL STAGES OF WEB SKITS TO BETTER UNDERSTAND STUDENTS

¹ Escola de Artes, Universidade Sains Malaysia, Malásia.

² Escola de Artes, Universidade Sains Malaysia, Malásia.

³ Escola de Artes, Universidade Sains Malaysia, Malásia.

Man Fei WU¹
wumanfei69@student.usm.my
Zuriawati Ahmad ZAHARI²
zuriawati@usm.my
Hasnul Jamal SAIDON³
hasnuljsaidon@usm.my



Como referenciar este artigo:

Wu, M. F., Zahari, Z. A., & Saidon, H. J. (2025). Um estudo sobre o efeito da eficiência da aplicação da tecnologia XR e da imersão do público em palcos virtuais de sketches on-line para melhor compreensão dos alunos. *Revista on line de Política e Gestão Educacional*, 29(esp4), e025096. <https://doi.org/10.22633/rpge.v29iesp4.20765>

Submetido em: 20/11/2025
Revisões requeridas em: 25/11/2025
Aprovado em: 04/12/2025
Publicado em: 20/12/2025



RESUMO: Este artigo examina o uso de tecnologias de Realidade Estendida (XR) para aprimorar o aprendizado por meio de simulações interativas, reconstituições e visualizações científicas. Apresenta uma estrutura organizada para compreender como a XR é aplicada no ensino de patrimônio cultural para melhorar a motivação, a compreensão e a experiência do usuário. O estudo concentra-se em como estudantes de cursos técnicos compreendem a visualização 3D em XR e propõe uma abordagem de treinamento unificado para fortalecer tanto as habilidades teóricas quanto as práticas. Também avalia como essa instrução molda a percepção dos alunos sobre a XR em diferentes contextos. Os resultados mostram uma melhora significativa nas habilidades técnicas dos participantes e atitudes mais positivas em relação à XR após a conclusão do curso. As descobertas sugerem que o treinamento direcionado em XR prepara melhor os alunos para as demandas tecnológicas de suas áreas. O artigo também oferece insights para otimizar o uso da XR no ensino de projeto arquitetônico e fornece recomendações estratégicas para o desenvolvimento curricular e a inovação tecnológica, visando apoiar a evolução das práticas profissionais.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade estendida (XR). Realidade virtual (VR). Patrimônio cultural. Habilidades práticas. Estudantes.

RESUMEN: *Este artículo analiza el uso de tecnologías de Realidad Extendida (XR) para mejorar el aprendizaje mediante simulaciones interactivas, reconstrucciones y visualizaciones científicas. Presenta un marco organizado para comprender cómo se aplica la XR en la enseñanza del patrimonio cultural con el fin de mejorar la motivación, la comprensión y la experiencia del usuario. El estudio se centra en cómo los estudiantes de cursos técnicos comprenden la visualización 3D en XR y propone un enfoque de formación unificado para fortalecer tanto las habilidades teóricas como las prácticas. También evalúa cómo esta instrucción influye en la percepción que los estudiantes tienen de la XR en distintos contextos. Los resultados muestran una mejora significativa en las habilidades técnicas de los participantes y actitudes más positivas hacia la XR tras la finalización del curso. Los hallazgos sugieren que la formación especializada en XR prepara mejor a los estudiantes para las demandas tecnológicas de sus áreas. El artículo también ofrece aportes para optimizar el uso de la XR en la enseñanza del diseño arquitectónico y presenta recomendaciones estratégicas para el desarrollo curricular y la innovación tecnológica, con el objetivo de apoyar la evolución de las prácticas profesionales.*

PALABRAS CLAVE: Realidad Extendida (XR). Realidad Virtual (VR). Patrimonio cultural. Habilidades prácticas. Estudiantes.

ABSTRACT: *This article examines the use of Extended Reality (XR) technologies to enhance learning through interactive simulations, reenactments, and scientific visualizations. It presents a structured framework for understanding how XR is applied in cultural heritage education to improve motivation, comprehension, and user experience. The study focuses on how technical students understand XR 3D visualization and proposes a unified training approach to strengthen both theoretical and practical skills. It also evaluates how this instruction shapes students' perceptions of XR across different contexts. Results show significant improvement in participants' technical abilities and more positive attitudes toward XR after completing the course. The findings suggest that targeted XR training better prepares students for the technological demands of their fields. The paper also offers insights for optimizing XR use in architectural design education and provides strategic recommendations for curriculum development and technological innovation to support evolving professional practices.*

KEYWORDS: Extended reality (XR). Virtual reality (VR). Cultural heritage. Practical skills. Students.

Artigo submetido ao sistema de similaridade



Editor: Prof. Dr. Sebastião de Souza Lemes
Editor Adjunto Executivo: Prof. Dr. José Anderson Santos Cruz.



INTRODUÇÃO

As competências essenciais para estudantes de áreas técnicas e não técnicas são os fundamentos da ciência e da tecnologia da informação. A capacidade ou o conhecimento necessário para realizar atividades práticas nos campos da ciência, das artes, da tecnologia, da engenharia e da matemática é conhecido como talento científico (Abhari et al., 2021). A capacidade de encontrar, coletar e processar dados, bem como aplicá-los de forma crítica e metódica, faz parte das habilidades em TI. Tecnologias imersivas contemporâneas, como realidade virtual (RV), realidade mista (RM), realidade aumentada (RA) e (Kharvari et al., 2022), oferecem novas perspectivas para a arquitetura de ambientes educacionais. Os sistemas de realidade estendida (XR) foram categorizados por Milgram et al. (1994) usando um continuum de “virtualidade” que conecta os mundos real e virtual.

Na educação, onde o enriquecimento virtual pode ser combinado com experiências do mundo real, o método utilizado destaca a importância da integração de elementos virtuais e físicos. De acordo com teorias pedagógicas, a tecnologia XR pode ser incorporada a um modelo educacional construtivista. Os alunos constroem conhecimento por meio da interação social e da reflexão sobre suas experiências, segundo o construtivismo social, uma teoria de aprendizagem amplamente difundida (Wang et al., 2022). A integração da tecnologia XR possibilita a criação de ambientes de aprendizagem autênticos que simulam situações profissionais reais, o que está em consonância com modelos de aprendizagem autêntica e aprendizagem baseada em problemas (Milgram et al., 1994).

As tecnologias de RV, RA e RM transformaram diversos setores nos últimos anos, da arquitetura e engenharia à saúde e educação. Utilizando o espectro do contínuo realidade-virtualidade, este trabalho emprega a XR para classificar de forma abrangente esses ambientes reais e virtuais criados digitalmente (Thomas, 2005) Figura 1. Como o projeto arquitetônico depende da visualização e manipulação de elementos espaciais, a capacidade da XR de criar um ambiente 3D imersivo e interativo coloca o setor arquitetônico na vanguarda das aplicações da XR (Shin et al., 2005).

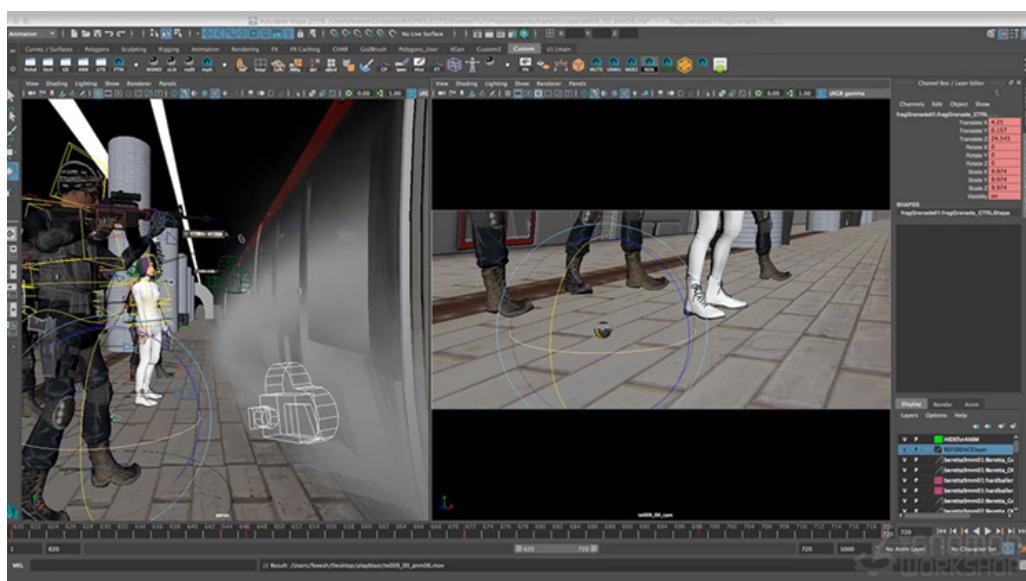
O primeiro é um sistema de ensaio virtual para treinamento de operação de câmera (1), que se assemelha mais à realidade virtual do que à realidade mista. Ele permite que os usuários avaliem a funcionalidade da câmera em ambientes totalmente virtuais criados por meio de computação gráfica e que simulam o movimento real da câmera. Utilizando um pequeno monitor fixado ao corpo da câmera, o usuário pode visualizar o ângulo atual da câmera. Um sistema de rastreamento infravermelho baseado em marcadores mede os movimentos da câmera. Com esse método, é possível reduzir os custos com atores e cenários.

A segunda é uma técnica de pré-visualização que utiliza realidade aumentada. Ela é projetada para funcionar em um estúdio real (Figura 1 [2]), utilizando a técnica de *chroma*

key em uma cena já visualizada. Um material retrorrefletivo exclusivo é usado para ampliar o método de *chroma key* e oferecer ao diretor e aos atores uma variedade de perspectivas. Podemos reduzir os custos de decoração de palco utilizando essa técnica. Por fim, a realidade aumentada é utilizada para pré-visualização (Ikeda et al., 2008). Para composição de cena e controle de pose/movimento da câmera no mundo real, o *Storyboard* em realidade aumentada (4) oferece uma interface fácil de usar.

Este método reduz o custo dos atores que atuam na cena real. Todos os métodos de pré-visualização mencionados acima são destinados a ambientes internos. Posicionar a câmera com precisão em ambientes externos é um desafio na ausência de sensores e marcadores. O último tipo de método de pré-visualização em tempo real requer a estimativa da pose precisa da câmera em 6 graus de liberdade (6 DOF) para registrar atores ou objetos virtuais em cada quadro do vídeo. Para pré-visualizações externas em tempo real, não existem técnicas de estimativa em tempo real que funcionem bem. Como ilustrado na Figura 1, neste estudo, oferecemos uma estratégia de pré-visualização em tempo real para situações externas que incluem cenários complexos, como elementos naturais.

Figura 1
Uma cena pré-visualizada (7, 8)



Nota. Elaborado pelos autores (2025).

A RV tem sido proposta como um meio potencial para aumentar o engajamento dos alunos, uma vez que permite a criação de avatares personalizados que refletem quem eles são. Uma experiência de aprendizagem mais imersiva e atraente pode ser obtida pela fusão desses avatares com tecnologias de detecção de expressões faciais e emoções, para construir ambientes interativos que espelhem características do mundo real (Diao & Shih, 2019;

Safikhani et al., 2022). Embora alguns alunos tenham demonstrado potencial para reduzir o desengajamento, essa abordagem não é uma panaceia, e as preferências de cada aluno e o ambiente de aprendizagem específico podem afetar sua eficácia (Ikeda et al., 2008). A aprendizagem em realidade virtual está na vanguarda da educação científica porque permite que os alunos visualizem conceitos de forma realista (Lin et al., 2023). Os alunos podem aprender com mais eficiência e se concentrar melhor, pois as atividades imersivas em um headset de RV capturam totalmente sua visão e atenção, reduzindo as oportunidades de distrações ou multitarefa.

A RV pode aprimorar significativamente a educação, proporcionando simulações envolventes e interativas que aumentam o engajamento e a retenção dos alunos, tornando mais acessíveis experiências antes inacessíveis em sala de aula, como cenários históricos ou estruturas científicas complexas. Em contraste com as técnicas de ensino convencionais, estudos da Universidade Stanford, por exemplo, demonstraram que a RV pode aumentar consideravelmente as taxas de engajamento e retenção dos alunos (Najereh et al., 2017). Além disso (Tsai et al., 2024), a RV tem o potencial de democratizar a educação, oferecendo excursões virtuais imersivas e intercâmbios culturais de fácil acesso, auxiliando os alunos a superar obstáculos financeiros ou geográficos.

Por meio da prática de tarefas como proezas de engenharia ou procedimentos médicos em um ambiente livre de riscos, a realidade virtual também ajuda os alunos a aprimorarem suas habilidades e a se envolverem em aprendizado experimental. Os níveis de ansiedade dos estudantes de medicina diminuíram, enquanto seu desempenho cirúrgico na vida real melhorou graças às simulações de realidade virtual, de acordo com o programa de Medicina da Universidade de Stanford. Um estudo recente mostrou que, ao reunir alunos à distância e incentivar a interação em grupo, a realidade virtual melhora o aprendizado colaborativo e social.

Além disso, o estudo descobriu que o trabalho em equipe baseado em realidade virtual aprimora significativamente as habilidades de comunicação e os resultados gerais de aprendizagem. Em conclusão, a realidade virtual é um instrumento útil para o desenvolvimento profissional e a formação de professores, fornecendo-lhes as ferramentas necessárias para incorporar com sucesso essa tecnologia em seus planos de aula.

A RA, que se distancia dos domínios imersivos da RV, combina perfeitamente informações digitais com o nosso ambiente físico. A realidade aumentada sobrepõe elementos digitais ao nosso mundo físico, em vez de criar um ambiente completamente virtual. Com o crescimento dos aplicativos para smartphones no final dos anos 2000 e início dos anos 2010, essa fusão de mundos atraiu muita atenção.

A RV e a RA são combinadas para criar a RM, que gera novos ambientes onde elementos digitais e físicos coexistem e interagem em tempo real. A introdução de dispositivos como

o Microsoft HoloLens, que possibilitou a incorporação de conteúdo digital holográfico ao mundo real, permitiu um desenvolvimento mais completo dessa ideia.

O termo “realidade estendida” (XR) refere-se a uma ampla categoria de tecnologias imersivas e às experiências que elas proporcionam. A XR mescla o espectro dos mundos virtual e físico, abrangendo tecnologias como VR, AR e MR. Na interseção de múltiplos avanços tecnológicos, a XR oferece uma infinidade de oportunidades em diversos setores. Ela tem o potencial de transformar negócios, alterar as interações entre humanos e computadores e criar experiências imersivas que antes só existiam na ficção científica, conectando os mundos real e digital. Desde experiências de varejo com realidade aumentada que permitem aos clientes experimentar produtos em tempo real, reduzindo taxas de devolução e aumentando a satisfação, até simulações virtuais de pacientes que aprimoram habilidades, a XR está impulsionando o engajamento em setores como saúde, varejo e treinamento.

Com o desenvolvimento da tecnologia, pode se tornar mais difícil distinguir entre VR, AR e MR, o que poderia resultar em experiências mais integradas e fluidas (Safikhani et al., 2022). Avanços adicionais em IA e 5G, que melhoram a capacidade de resposta e a acessibilidade da XR, devem tornar essas ferramentas indispensáveis no dia a dia; dispositivos vestíveis e headsets de XR já estão sendo cada vez mais utilizados.

Visualização audiovisual, percepção em tempo real e visualização musical

De acordo com pesquisas, as imagens visuais exercem uma influência significativa na evocação de emoções e na melhoria da experiência auditiva musical. No entanto, sua natureza exata, intenção e frequência ainda são desconhecidas. A visualização musical aprimora a imersão do público e o ajuda a compreender melhor as performances, segundo pesquisas anteriores (Safikhani et al., 2022). O público é cativado pela forma como a música e os elementos visuais interagem, e o sucesso de uma apresentação ao vivo depende fundamentalmente do equilíbrio audiovisual correto (Safikhani et al., 2022). Os Visual Jockeys (VJs), que utilizam as batidas, o ritmo e a estrutura da música para criar visuais, frequentemente recebem arquivos de áudio pré-gravados dos artistas. Dessa forma, áudio e vídeo são separados, e a maioria das performances é pré-arranjada, sem interação em tempo real.

Copresença virtual e concerto em realidade estendida (XR)

Aprimorar a participação e o envolvimento do público para aumentar a imersão em performances de realidade virtual tem sido tema de pesquisas anteriores. Os usuários podem desfrutar de gravações ao vivo, por exemplo, de um ponto de vista livre com controle de som ajustável, coletando sinais em tempo real e transformando-os em uma cena virtual para criar

uma experiência imersiva (Safikhani et al., 2022). Um sistema de visualização emocional em tempo real aprimora o vínculo emocional entre o público presencial e o virtual, sincronizando os movimentos do artista, as interações com o público e a música.

Muitas apresentações utilizam a tecnologia XR em performances ao vivo, além de concertos completamente virtuais. Uma plataforma de concertos online chamada Beyond LIVE foi desenvolvida na Ásia pela SM Entertainment, na Coreia do Sul. Ela combina imagens 3D em tempo real, tecnologia de realidade aumentada e performances de artistas para produzir uma experiência visualmente deslumbrante. Os participantes do concerto XR da banda Miro Shot em 2019 (Safikhani et al., 2022) usaram headsets de realidade virtual e entraram em um ambiente imersivo multissensorial com ventiladores, gelo seco e fragrâncias. Performances com instrumentos musicais virtuais imersivos (IVMI) no palco apresentam desafios tanto conceituais quanto técnicos, e sugestões para o design e implementação de performances imersivas no futuro já foram feitas (Shirzadian et al., 2017). Artistas e espectadores agora podem interagir musicalmente com objetos, agentes e ambientes virtuais graças ao crescimento substancial da interseção entre música e XR.

Considerações de design de desempenho XR

As sutilezas da implementação em campo são cruciais no dinâmico mundo das apresentações ao vivo. Os métodos tradicionais fornecem insights valiosos para o design, desde a compreensão das necessidades das partes interessadas até a resolução de problemas decorrentes de diferentes locais e configurações de público. Fundamentar nossa estratégia nesses comportamentos básicos é fundamental à medida que fazemos a transição para modelos híbridos. Para estabelecer uma base sólida para o desenvolvimento de modelos híbridos de performance, começamos investigando as questões de design de apresentações presenciais (Turchet et al., 2021). Planejamos quatro eventos para entender melhor as dificuldades envolvidas na apresentação de performances ao vivo: uma demonstração técnica com 60 convidados, um concerto musical com 2.000 participantes e duas cerimônias de abertura com aproximadamente 100 e 300 participantes. Solicitamos a opinião de guitarristas de bandas que foram convidados a usar nosso sistema de performance XR durante esses eventos.

Como a RA permite que os usuários observem locais e objetos do mundo real, ela aprimora sua interação com materiais educativos relacionados ao patrimônio cultural. Por meio da sobreposição digital de informações, a RA produz uma visualização contextualizada que melhora a compreensão. No entanto, a RV possibilita a recriação completa de locais e edifícios do patrimônio cultural em um ambiente 3D totalmente imersivo, oferecendo aos usuários a oportunidade de examinar remotamente artefatos e locais históricos para uma experiência mais envolvente e educativa (Yakura & Goto, 2020). Através da integração dos mundos físico

e virtual na realidade mista (RM), os usuários podem interagir com objetos e locais de importância histórica enquanto estão fisicamente presentes, proporcionando oportunidades de aprendizado experencial.

O termo experiência do usuário (UX) descreve o estudo, o planejamento e a avaliação de como os usuários se comportam ao interagir com sistemas, serviços ou produtos. A UX é definida como as reações e impressões de uma pessoa em relação a um sistema, produto ou serviço, segundo a norma ISO 9241-210. Como as experiências imersivas são tão especiais, o conceito de UX tem sido frequentemente utilizado na análise das experiências de visitantes em museus e locais históricos virtuais (Santini, 2024). A UX é influenciada pelo estado psicológico do usuário (comportamento, expectativas, requisitos e motivação), pelas características do sistema ou produto (complexidade, propósito, usabilidade e função) e pelo contexto (por exemplo, ambiente social e organizacional, atividade significativa e voluntariedade de uso).

O objetivo desta pesquisa é examinar como a visualização 3D em XR afeta o desenvolvimento da competência técnica dos alunos na educação em engenharia. Nossa hipótese é que o ensino direcionado utilizando a tecnologia XR aprimorará a proficiência técnica dos alunos e impactará suas percepções sobre esses recursos. O projeto avaliará a criação de conteúdo 3D pelos alunos para visualizações em RA, RM (Easdon, 2020) e RV, bem como sua compreensão da tecnologia XR. Além disso, acreditamos que um treinamento rigoroso em XR melhorará as capacidades práticas dos alunos em domínios técnicos, preparando-os melhor para o mercado de trabalho moderno, onde habilidades de alta tecnologia estão se tornando cada vez mais cruciais.

Questões-chave de pesquisa foram desenvolvidas para responder a essas premissas: Ao aprender com a tecnologia XR, quais desafios os alunos encontram? Qual o impacto do uso da XR na educação técnica sobre o desenvolvimento das habilidades técnicas dos alunos? O ensino com XR tem um impacto positivo na percepção dos alunos (Yakura & Goto, 2020) sobre essas tecnologias e como elas serão utilizadas no ambiente de trabalho no futuro? Ao responder a essas perguntas, poderemos compreender melhor a possível influência das tecnologias XR no desenvolvimento de competências técnicas contemporâneas e fornecer uma estrutura metodológica detalhada para o estudo.

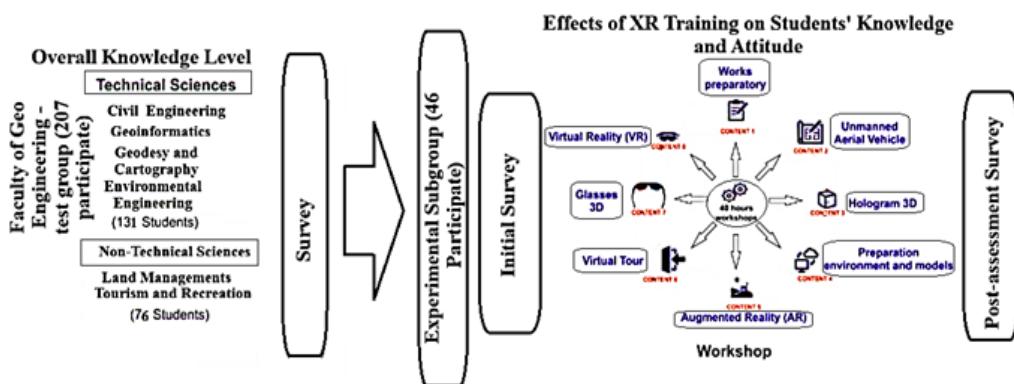
METODOLOGIA

A primeira fase do estudo envolveu a aplicação de um questionário a 207 alunos da faculdade multidisciplinar de geoinformática, matriculados em diversos cursos técnicos e de ciências sociais, incluindo engenharia ambiental (131 alunos da área de ciências técnicas), administração territorial, turismo e recreação (76 alunos de áreas não técnicas), engenharia civil (Yan et al., 2020; Zappi et al., 2022), geoinformática, geodesia e cartografia, entre outros.

O questionário foi aplicado online, de forma anônima, e continha sete perguntas fechadas. As perguntas se concentravam na familiaridade dos alunos com RA, RV, RM, hologramas, visitas virtuais simuladas e veículos aéreos não tripulados (VANTs) (Scippo et al., 2024). O questionário também solicitava uma avaliação subjetiva do grau de dificuldade em utilizar e configurar um espaço de trabalho com esses dispositivos. Além disso, o questionário questionava se esses avanços tecnológicos eram abordados nas aulas e se o currículo deveria incorporá-los.

Figura 2

Estrutura para conceber como avaliar o conhecimento geral dos alunos e como o ensino em XR afeta suas atitudes e níveis de conhecimento



Nota. Drugova et al. (2021).

Descrição do workshop

Participantes de um corpo docente multidisciplinar de geoinformática participaram do workshop, que ocorreu entre dezembro de 2020 e março de 2023 (Cai & Zhang, 2024). A utilização de tecnologia de visualização baseada em Realidade Estendida foi o foco da sessão (Arnab et al., 2024). A Figura 2 mostra um esquema do programa do workshop.

Cada bloco temático é brevemente descrito no parágrafo seguinte, que também descreve os recursos utilizados no processo de ensino (Arnab et al., 2024).

Realidade aumentada (RA)

Os participantes do curso de RA aprenderam sobre esse tipo de tecnologia e como usar a biblioteca Vuforia e o ambiente de desenvolvimento Unity 3D para construir aplicativos móveis (Chen & Konomi, 2024). A aula também abordou diversas abordagens para exibir e posicionar objetos 3D no espaço, como localização baseada em identificação de imagem (marcador), localização baseada em GNSS e localização baseada no reconhecimento de pontos de referência e planos. Além disso, foram examinadas abordagens mistas (Suryodiningrat et al., 2024), que incorporam múltiplos métodos de localização.

Realidade virtual (RV)

As especificações de hardware para RV foram apresentadas no workshop. Além do desenvolvimento de soluções baseadas em tours virtuais ou Unity, os dispositivos de RV foram testados com celulares e adaptadores de RV (Janssen et al., 2016). A configuração e a manutenção de ambientes de RV usando dispositivos como o Oculus Rift e o HTC VIVE Pro Eye, onde a criação de conteúdo é realizada com um PC, foram descritas (Gonizzi Barsanti et al., 2015). Os alunos aprenderam a diferenciar as configurações dos dispositivos HTC VIVE Pro Eye e Oculus Quest 2.

Holograma

Durante a sessão, os alunos foram expostos a diversas tecnologias que exibem imagens tridimensionais (Hammady et al., 2020). Inicialmente, foram apresentados aos óculos anáglifos, que bloqueiam as cores vermelha e azul utilizando filtros em uma lente e na outra, respectivamente. Juntas, as duas imagens são processadas pelo cérebro para produzir um ambiente tridimensional (Han et al., 2019). O uso de imagens distintas para cada olho em filmes 3D foi outro tópico abordado na sessão.

Visita virtual

Um tour virtual é um método envolvente de descobrir e estudar locais, artefatos ou estruturas. Os usuários podem visualizar um ambiente tridimensional em um computador ou celular usando um navegador da web (Dunleavy & Dede, 2024). Essa tecnologia, que permite aos turistas visualizar uma representação gráfica de um local no conforto de suas casas, é amplamente utilizada nos setores de varejo, imobiliário e turismo. Os tours virtuais podem ser acessados em um computador, tablet ou smartphone e são baseados em RA e RV.

Veículo aéreo não tripulado (VANT)

Os participantes das aulas sobre drones aprenderam sobre as regulamentações e licenças para o uso de drones na Polônia. Informações e um resumo das autorizações necessárias foram fornecidos pela Autoridade de Aviação Civil. Durante a parte prática da aula, os participantes testaram suas habilidades usando simuladores de voo. Eles puderam alterar as condições climáticas e selecionar o tipo de drone para praticar o manuseio e as manobras básicas de drones.

Modelagem 3D

Na parte da aula dedicada à modelagem 3D, os participantes aprenderam a usar diversos softwares, tanto gratuitos quanto comerciais, para produzir um modelo 3D de um objeto (Dunleavy & Dede, 2014). Entre os softwares apresentados estava o Agisoft Metashape, que possibilitava a criação de modelos 3D a partir de fotografias.

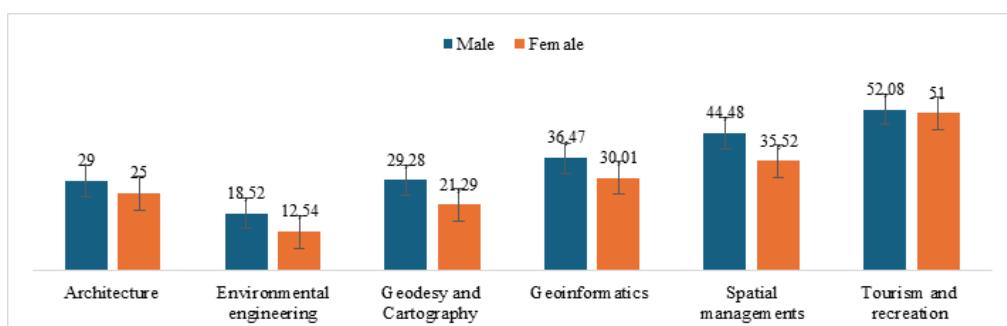
Para criar o modelo 3D final, o procedimento consistiu em organizar a coleta de dados, tirar fotos ou usar um dispositivo móvel para escanear o objeto e, em seguida, inserir os dados no software (Essoe et al., 2022). Além disso, os participantes foram instruídos sobre as diferentes opções que impactam a qualidade do modelo, incluindo as configurações de textura e cor, bem como a quantidade de pontos gerados. Depois disso, eles podem usar o modelo 3D em mundos virtuais, como jogos ou visitas virtuais a edifícios e museus.

Compreensão básica dos alunos

Na faculdade multidisciplinar de geoinformática, 207 alunos responderam a um questionário inicial (Figura 3) (Evangelidis et al., 2020).

Figura 3

Os atributos do gênero da pessoa e do campo avaliado

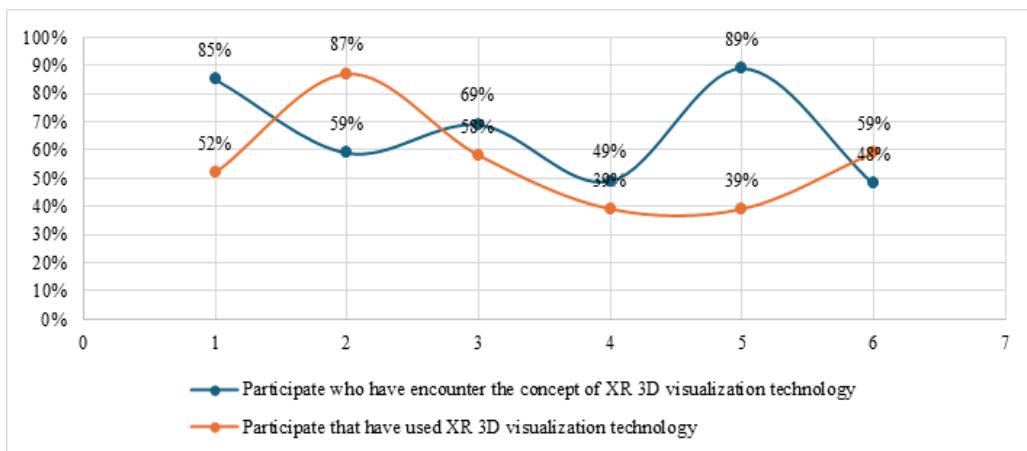


Nota. Elaborado pelos autores (2025).

O nível de familiaridade dos alunos com as tecnologias estudadas e sua capacidade de diferenciá-las variaram. As respostas combinadas dos participantes da pesquisa são apresentadas na Figura 4 (Essoe et al., 2022).

Figura 4

Compreensão tecnológica dos entrevistados sobre a representação 3D da Realidade Estendida

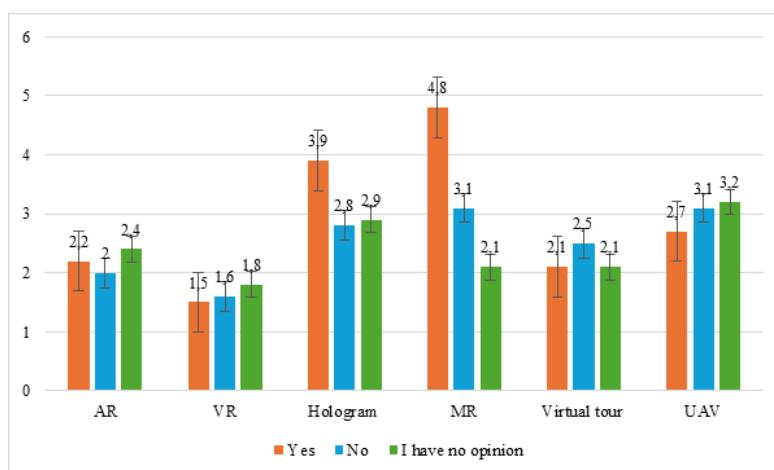


Nota. Elaborado pelos autores (2025).

O uso da tecnologia de visualização 3D foi outra questão na pesquisa. Apenas uma pequena porcentagem dos entrevistados utilizava essas tecnologias, como demonstra o resultado direto da pergunta anterior. No entanto, os entrevistados (65% e 63%) afirmam que usar tecnologias como realidade virtual e visitas virtuais é muito simples (Figura 5).

Figura 5

O grau em que a tecnologia de visualização de realidade estendida é desafiadora de usar



Nota. Chiao et al. (2018).

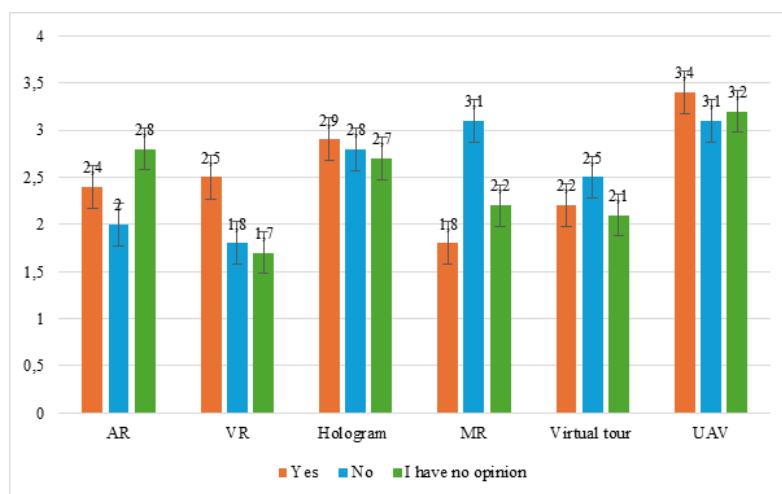
Parece que muitos alunos têm dúvidas sobre como usar e construir soluções com essas tecnologias devido à sua complexidade (Baca et al., 2021; Fombuena, 2017). Como muitos deles consideram difícil criar soluções com tecnologias modernas, a educação e o treinamento nessa área podem ser bastante úteis.

Em relação à dificuldade de desenvolver soluções próprias utilizando as tecnologias mencionadas, a maioria dos respondentes selecionou “Não tenho opinião” (variando de 38%

dos respondentes para VR a 57% dos respondentes para MR), enquanto apenas uma pequena porcentagem dos respondentes utilizou ferramentas de visualização 3D (Figura 6) (Fombuena, 2017, Kotarski et al., 2021).

Figura 6

O grau de complexidade envolvido na configuração de um espaço de trabalho usando ferramentas de visualização 3D de Realidade Estendida

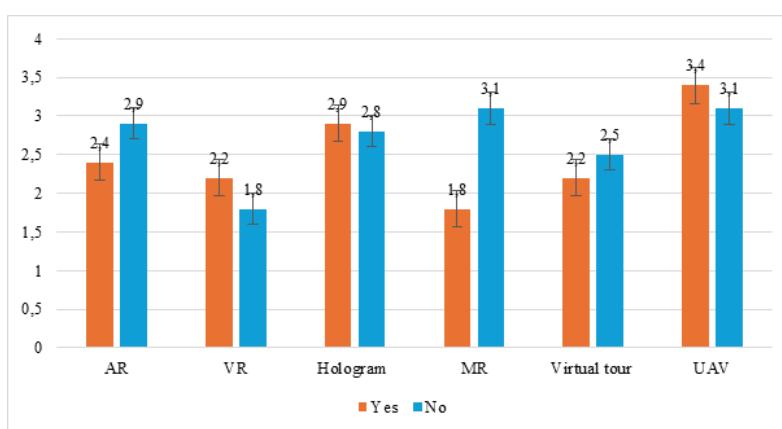


Nota. Mutis e Antonenko (2022).

Os participantes da pesquisa foram questionados se acreditavam que diversas tecnologias deveriam ser ensinadas em suas áreas de estudo e se elas eram abordadas em suas aulas (Figura 7 [Liono et al., 2021]). A grande maioria dos participantes afirmou ter aprendido sobre essas tecnologias em outros lugares e que elas não eram frequentemente abordadas em suas aulas.

Figura 7

Estado atual do uso da tecnologia de visualização 3D de realidade estendida na educação

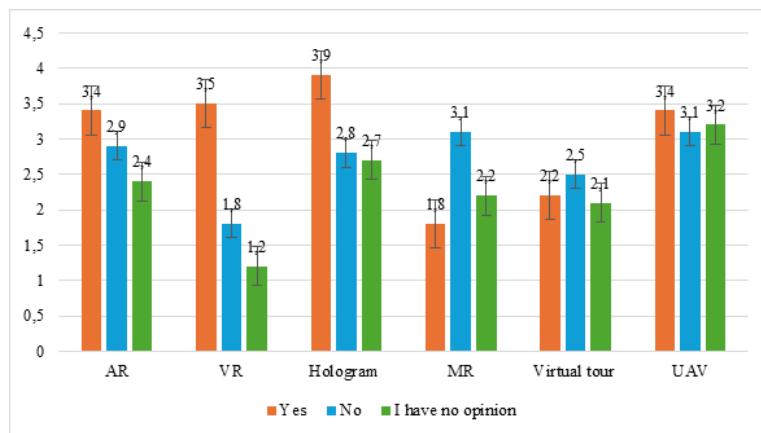


Nota. Elmqaddem (2019).

Embora essas tecnologias raramente fossem discutidas em sala de aula, sugerindo falta de compreensão e experiência, muitas pessoas achavam que elas precisavam ser incluídas em seus currículos (Martín-Gutiérrez et al., 2017). Hologramas (55%), visitas virtuais (59%) e realidade virtual (62%) estavam entre as opções mais populares. Uma visão geral das respostas sobre se essas tecnologias deveriam ou não ser ensinadas em sala de aula é mostrada na Figura 8.

Figura 8

A tecnologia de visualização 3D de Realidade Estendida é necessária para ministrar cursos didáticos

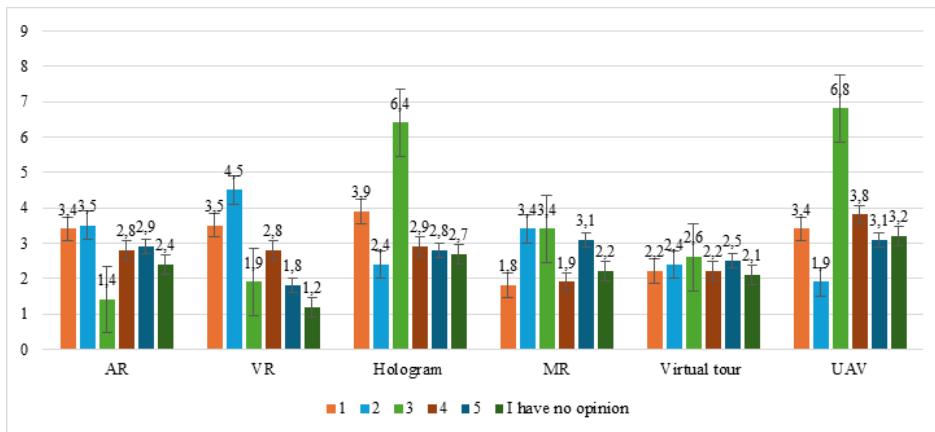


Nota. Ogunseiju et al. (2022).

Na última questão, os alunos foram solicitados a avaliar a aplicabilidade das tecnologias analisadas em seus futuros empregos (Martín-Gutiérrez et al., 2017). Muitos alunos optaram por selecionar a resposta “Não tenho opinião” devido à falta de compreensão e debate em sala de aula. No entanto, a maior porcentagem de avaliações “5” (extremamente útil) foi atribuída a visitas virtuais (27% dos respondentes) e realidade virtual (20% das respostas), sugerindo que essas tecnologias são altamente valorizadas (Figura 9).

Figura 9

Aplicabilidade da tecnologia de visualização 3D de realidade estendida em projetos futuros



Nota. Ogunseiju et al. (2022).

DIAGNÓSTICO DE AVALIAÇÃO

Para ampliar o conhecimento e avaliar mudanças de atitude, realizamos workshops de treinamento como parte da etapa subsequente do nosso estudo sobre visualização 3D em Realidade Estendida. Dos 47 participantes que responderam ao questionário, 20 eram homens (43%) e 27 mulheres (57%). Três participantes estudavam turismo e recreação, dois pesquisavam engenharia civil, nove estudavam geodesia e cartografia e 33 estudavam gestão territorial. Nossos resultados são apresentados a seguir, após analisarmos as respostas às perguntas comparáveis às do questionário original. Considerando que a análise foi realizada após a sessão, ela teve caráter avaliativo.

Você acha difícil usar a tecnologia que estudou?

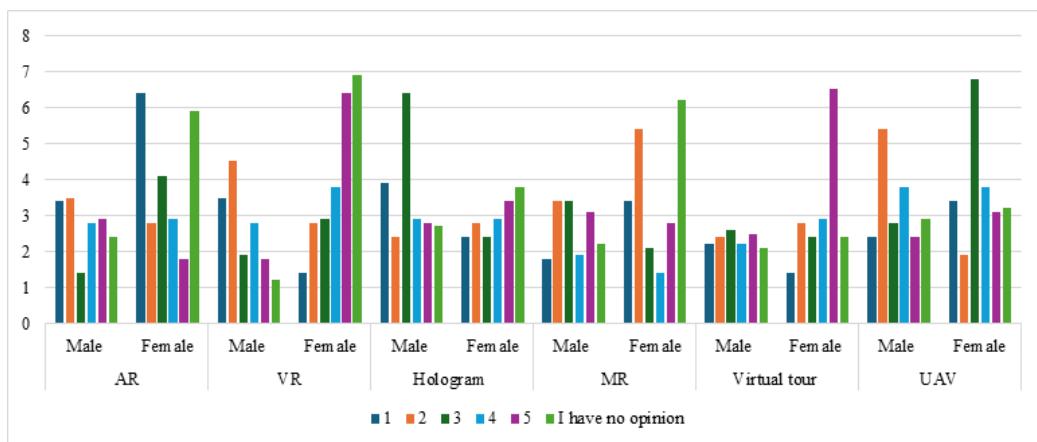
Ao analisar os resultados da pesquisa, fica evidente que a percepção dos respondentes sobre o grau de dificuldade no uso de diferentes tecnologias varia significativamente (Figura 10):

- A maioria das avaliações para RA (Realidade Aumentada) foram 1 ou 2, indicando que as pessoas a consideraram fácil de usar ou moderadamente difícil. Isso fez da RA a tecnologia mais acessível;
- Além disso, os participantes consideraram a realidade virtual bastante fácil de usar, com alguns atribuindo notas melhores do que a realidade aumentada, o que sugere certo grau de hesitação;
- Devido à distribuição equitativa dos votos, o MR gerou uma variedade de opiniões. Enquanto alguns participantes acharam que era simples de usar, outros disseram que era mais complicado;
- Com classificações que variam de 1 a 5, os hologramas foram classificados como moderadamente complicados a difíceis, sugerindo possíveis dificuldades técnicas ou a necessidade de maior conhecimento tecnológico;
- As visitas virtuais foram bem avaliadas pela maioria dos entrevistados, que as consideraram fáceis de usar ou bastante difíceis;
- De todas as tecnologias abordadas, o uso de drones ou VANTS (Veículos Aéreos Não Tripulados) foi considerado o mais desafiador; várias das pontuações foram três ou mais, sugerindo um maior grau de complexidade;
- Com pontuações médias abaixo de 2,5, todas as tecnologias foram consideradas bastante fáceis de usar, com exceção dos UAVs (2,56). Isso implica que o potencial da tecnologia é demonstrado pelo seu atual estado de desenvolvimento. No

entanto, a complexidade pode impedir seu crescimento, tornando necessária a proficiência para implementar soluções baseadas em XR.

Figura 10

Grau de complexidade da utilização da tecnologia de visualização 3D da Realidade Estendida (1 - muito fácil, 5 - muito difícil)



Nota. Elaborado pelos autores (2025).

Você tem dificuldade em usar as ferramentas que aprendeu para desenvolver um ambiente de trabalho?

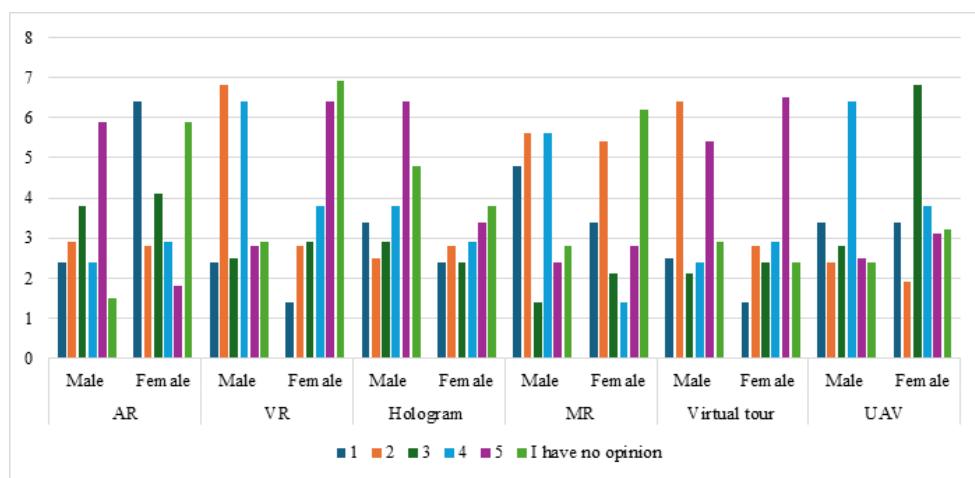
Após analisarmos os dados da pesquisa sobre os desafios de configurar um espaço de trabalho digital, observamos o seguinte (Figura 11):

- Com pontuações que variam principalmente de 2 a 3, a maioria dos respondentes avaliou o desenvolvimento de um ambiente de trabalho em RA como algo um tanto difícil;
- A maioria das pontuações ficou entre 1 e 3, indicando que criar um ambiente de trabalho em realidade virtual era de simples a moderadamente complicado;
- A realidade mista (RM) e a realidade virtual (RV) receberam avaliações semelhantes, sugerindo que a integração dessa tecnologia em um ambiente de trabalho é considerada bastante desafiadora;
- Embora as pontuações dos hologramas fossem mais variadas, muitas delas eram 2 ou 3, indicando um nível moderado de dificuldade;
- Com a maioria das pontuações em 1 ou 2, as visitas virtuais são a tecnologia mais fácil de incorporar em um ambiente de trabalho;
- Assim como os hologramas, os UAVs receberam uma ampla gama de classificações, com a maioria ficando entre dois e três, o que indica dificuldade intermediária;

- Considera-se significativamente mais difícil criar um ambiente funcional utilizando tecnologias previamente ensinadas do que utilizá-las, especialmente para RA (2,68), RM (2,72) e hologramas (2,22). Isso implica que, embora essas tecnologias sejam simples de usar por si só, integrá-las a um ambiente de trabalho pode ser difícil.

Figura 11

Nível de complexidade para configurar um espaço de trabalho usando ferramentas de visualização 3D de realidade estendida (1 - muito simples, 5 - muito difícil)



Nota. Elaborado pelos autores (2025).

O processo educacional da sua área de estudo exige o uso da tecnologia que você aprendeu?

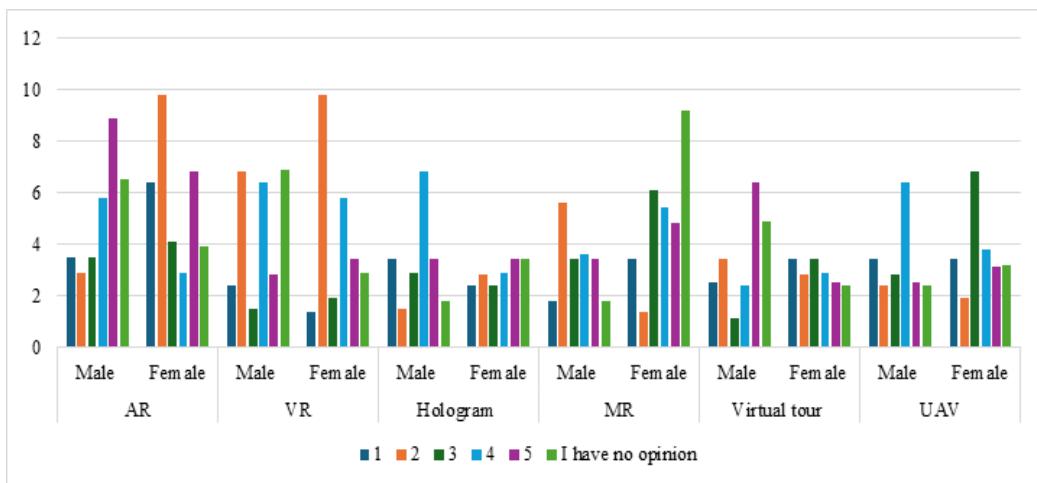
A análise dos dados demonstra claramente que as abordagens de visualização 3D da Realidade Estendida devem ser incluídas no processo educacional (Figura 12).

- A maioria dos entrevistados atribuiu cinco estrelas à RA e à RV, sugerindo que ambas as tecnologias são muito necessárias para a sua educação;
- Embora algumas avaliações tenham sido um pouco mais baixas, a MR também é considerada muito importante;
- Embora as avaliações dos hologramas fossem um pouco mais variáveis, a maioria ainda os considerava obrigatórios ou moderadamente necessários;
- Com a maioria das avaliações atribuindo cinco estrelas, a tecnologia de visitas virtuais é bastante popular na área da educação;
- Os drones também receberam boas avaliações; no entanto, alguns entrevistados atribuíram-lhes classificações um pouco mais baixas;

- Com pontuações médias acima de 4, todas as tecnologias são consideradas absolutamente essenciais na educação. Os hologramas (4,00) são vistos como um pouco menos necessários do que as visitas virtuais (4,68) e a realidade virtual (4,62).

Figura 12

Necessidade potencial de utilização da tecnologia de visualização de Realidade Estendida no processo de ensino e aprendizagem (1 - necessário, 5 - essencial)



Nota. Elaborado pelos autores (2025).

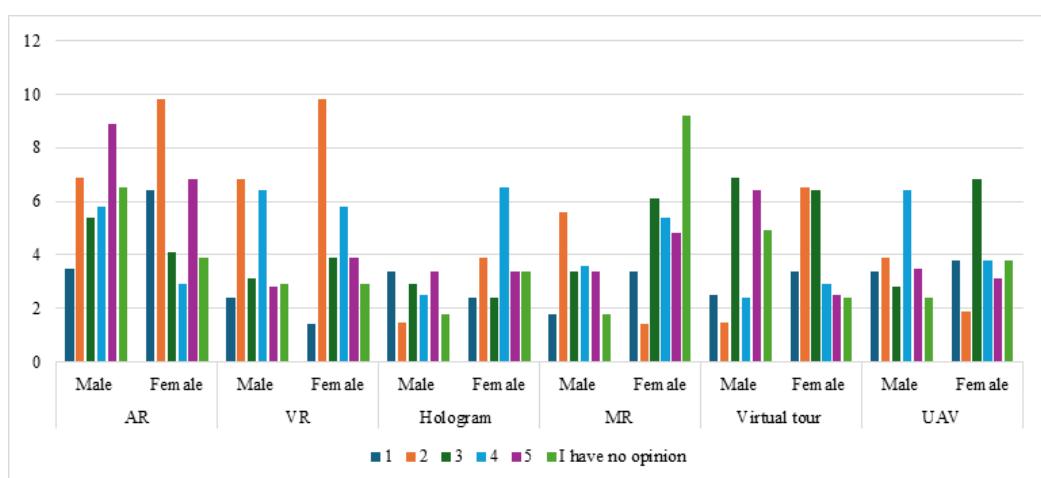
Os dados apresentados indicam que, em geral, os respondentes consideraram todas as tecnologias valiosas para seu futuro emprego. No entanto, houve algumas diferenças nas avaliações por tecnologia (Figura 13).

- Todos os participantes atribuíram à RA uma pontuação de quatro ou mais, demonstrando o quanto consideraram a tecnologia útil. Isso se deve à capacidade da RA de mesclar os mundos real e virtual, o que a torna útil para uma variedade de aplicações em gestão territorial e mercado imobiliário;
- A realidade virtual (RV) também recebeu altas pontuações, mas pouco menos que a realidade aumentada (RA). Sendo a mais imersiva das tecnologias descritas, esta pode ser útil para demonstrações virtuais de imóveis e outras aplicações de gestão territorial.
- A MR, que combina aspectos de AR e VR, também recebeu uma classificação favorável, apesar de alguns participantes terem atribuído uma nota 3;
- As opiniões sobre a utilidade dos hologramas foram as mais diversas, com pontuações variando de 2 a 5. Isso sugere incerteza quanto ao uso potencial dessa tecnologia no setor imobiliário e na gestão de terras;

- A grande maioria dos entrevistados atribuiu aos tours virtuais uma classificação de 5, indicando que eles são úteis. Isso se deve ao fato de um tour virtual permitir que uma pessoa explore uma área sem precisar se deslocar fisicamente por ela;
- Os drones também se mostraram muito úteis. Eles podem ser usados para diversas tarefas no setor imobiliário e na gestão de terrenos, incluindo fotografia aérea de propriedades e monitoramento das condições de edifícios;
- Com avaliações médias de 2,56 e 2,28, respectivamente, os veículos aéreos não tripulados (VANTS) e a realidade mista (RM) são considerados as tecnologias mais benéficas para o setor imobiliário e gestão territorial. Os tours virtuais e os hologramas tiveram avaliações mais baixas (1,60 e 1,49, respectivamente).

Figura 13

Possibilidades da visualização de realidade estendida para o futuro emprego do respondente no setor imobiliário e de gestão de terras



Nota. Elaborado pelos autores (2025). 1 = completamente inútil, 5 = muito útil.

De acordo com a análise dos dados, todas as tecnologias incluídas no estudo foram benéficas para a gestão territorial. No entanto, algumas (como Realidade Mista e hologramas) receberam avaliações um pouco mais baixas do que outras (incluindo Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Visitas Virtuais e Drones). Segundo os resultados gerais da pesquisa, os alunos consideraram as tecnologias investigadas benéficas e importantes para sua formação.

CONCLUSÃO

De acordo com a análise dos dados, todas as tecnologias incluídas no estudo foram benéficas para a gestão territorial. No entanto, algumas (como Realidade Mista e hologramas) receberam avaliações um pouco mais baixas do que outras (incluindo Realidade

Aumentada, Realidade Virtual, Visitas Virtuais e Drones). Segundo os resultados gerais da pesquisa os alunos consideraram as tecnologias investigadas benéficas e importantes para sua formação.

Este ensaio discute como a RA, RV, RM, XR e o metaverso podem revolucionar o ensino do patrimônio cultural. O artigo contribui para o avanço da disciplina ao oferecer uma estrutura para a incorporação da XR no ensino de arquitetura, que tem o potencial de transformar a prática e a pedagogia do projeto. Esta pesquisa examina como as tecnologias de XR são utilizadas no mercado e apresenta recomendações importantes para a reforma do ensino de arquitetura. Essas recomendações incluem a expansão do conteúdo programático, a adoção de técnicas de avaliação dinâmicas e flexíveis e a vinculação de temas de projeto a questões pertinentes ao setor.

De modo geral, o estudo demonstra que os alunos têm um forte desejo de aprender mais sobre o assunto. Parece que a RA ainda não é amplamente utilizada na educação ou vivenciada no contexto típico dos alunos, visto que a maioria precisou de ajuda para compreender o conceito antes da oficina. A expressão “realidade virtual”, por outro lado, era familiar para a maioria dos alunos, o que pode ser atribuído ao seu uso crescente em diversos contextos, incluindo jogos. Da mesma forma, a maioria dos alunos não havia utilizado o termo RM, que se refere a uma tecnologia muito recente e em constante evolução. Devido ao seu amplo uso na cultura pop e na mídia, os hologramas são um conceito bastante conhecido. Também é comum estar familiarizado com tours virtuais, já que são frequentemente utilizados no mercado imobiliário e no turismo. Como os drones são utilizados em setores militares ou técnicos especializados, como topografia, fotografia aérea e produção cinematográfica, pode haver uma falta de familiaridade com eles.

Essas técnicas de ativação beneficiam tanto a instituição quanto os professores e alunos. Elas levam a uma melhor compreensão e consolidação da informação, maior motivação para estudar e participação ativa em sala de aula. Consequentemente, a capacidade de memorização, trabalho colaborativo, criatividade e pensamento crítico dos alunos pode ser aprimorada. A universidade se beneficia com o aumento do envolvimento dos alunos na aprendizagem, maior atratividade, a introdução de novas formas de ensino, como workshops, e o desenvolvimento da cultura organizacional. Os professores podem obter maior satisfação profissional, eficiência e habilidades ao trabalhar com a Geração Z. No sistema de ensino superior polonês, os alunos são avaliados de acordo com suas capacidades, conhecimentos e habilidades.

Foi demonstrado no workshop que as atitudes dos alunos em relação à tecnologia contemporânea de visualização 3D podem ser alteradas com a inclusão de um único tópico no currículo. A pesquisa identificou quatro tópicos principais que necessitam de mais

estudos futuros. Em primeiro lugar, é necessária uma análise de como as tecnologias de RA, RV e RM são utilizadas e compreendidas.

Portanto, muitas pessoas precisam de auxílio para compreender e utilizar essas tecnologias. Assim, é necessário realizar mais pesquisas para determinar as áreas específicas em que os usuários encontram mais dificuldades, a fim de desenvolver estratégias eficazes de ensino e assistência. Em segundo lugar, é crucial avaliar a eficácia de workshops e treinamentos para ajudar os usuários a se familiarizarem e adquirirem competência com as tecnologias de RA, RV e RM. Com o auxílio deste estudo, serão descobertos os métodos de treinamento mais eficazes para otimizar o processo de aprendizagem.

De acordo com as conclusões do estudo, o treinamento em tecnologias XR tem um efeito benéfico no desenvolvimento da competência técnica dos alunos. Em consonância com a noção de que o treinamento extensivo fomenta a competência técnica, os alunos demonstraram um aumento notável em sua compreensão teórica e proficiência prática em relação às tecnologias AR, VR e MR após o workshop. As atitudes dos alunos em relação às novas tecnologias também foram claramente alteradas pela sessão; suas apreensões e dificuldades iniciais com a XR foram substituídas por maior confiança e motivação para aprender mais sobre elas e usá-las em seus futuros trabalhos. Houve confirmação de questões-chave do estudo sobre os desafios da aprendizagem com XR. Após o treinamento, a percepção dos alunos sobre essas ferramentas melhorou drasticamente e eles tiveram menos dificuldade em usá-las do que antes, quando tinham dificuldade em compreender e identificar tecnologias modernas como AR e MR.

De acordo com os resultados, o treinamento teve um impacto considerável na visão favorável dos alunos em relação ao uso da XR em futuras iniciativas profissionais. Confirma-se que o treinamento focado em XR pode preparar os alunos com sucesso para os desafios do mercado de trabalho atual, onde a visualização moderna e a tecnologia 3D estão se tornando cada vez mais importantes, reduzindo estereótipos sobre o grau de dificuldade e aumentando a conscientização sobre as vantagens dessas tecnologias no estudo da engenharia.

REFERÊNCIAS

- Abhari, M., Abhari, K., Drinkwine, M., & Sloan, J. (2021). Extended reality (XR) applications in architectural practice: Towards a development framework. In C. Stephanidis et al. (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 185–196). Springer.
- Arnab, S., Clarke, S., Lee, N., Lee, C., Green, A. K., Mytton, C., Virupakshappa, N., & Al-Jumeily, D. (2024). Virtual and augmented reality in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: An umbrella review. *Informatics*, 15, 515.
- Baca, T., Húla, D., Vašatová, V., Znoj, J., Hert, D., Saska, M., Chudoba, V., Cvrček, L., Pecka, M., Pšenička, M., Schlegel, M., Svatý, V., & Spurný, V. (2021). The MRS UAV system: Pushing the frontiers of reproducible research, real-world deployment, and education with autonomous unmanned aerial vehicles. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 102, 26.
- Cai, S., & Zhang, J. (2024). Design of authentic learning based on mixed virtual reality learning environment in K–12 education. In *Lecture Notes in Educational Technology* (pp. 315–338). Springer.
- Chen, J., & Konomi, S. (2022). Utilization of XR technology in distance collaborative learning: A systematic review. *Lecture Notes in Computer Science*, 13312, 14–29.
- Chiao, H. M., Chen, Y. L., & Huang, W. H. (2018). Examining the usability of an online virtual tour-guiding platform for cultural tourism education. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education*, 23, 29–38.
- Diao, P.-H., & Shih, N.-J. (2019). Trends and research issues of augmented reality studies in architectural and civil engineering education: A review of academic journal publications. *Applied Sciences*, 9, 1840.
- Drugova, E., Zhuravleva, I., Aiusheeva, M., & Grits, D. (2021). Toward a model of learning innovation integration: TPACK-SAMR based analysis of the introduction of a digital learning environment in three Russian universities. *Education and Information Technologies*, 26, 4925–4942.
- Dunleavy, M., & Dede, C. (2014). Augmented reality teaching and learning. In J. M. Spector et al. (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 735–745). Springer.
- Easdon, J. A. (2020). *The design process for XR experiences* [Unpublished master's thesis].
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education: Myth or reality? *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 14, 234.

- Esshoe, J. K.-Y., Reggente, N., Ohno, A. A., Baek, Y. H., Dell’Italia, J., & Rissman, J. (2022). Enhancing learning and retention with distinctive virtual reality environments and mental context reinstatement. *npj Science of Learning*, 7(1), 31.
- Evangelidis, K., Sylaiou, S., & Papadopoulos, T. (2020). Mergin’mode: Mixed reality and geoinformatics for monument demonstration. *Applied Sciences*, 10(11), 3826.
- Fombuena, A. (2017). Unmanned aerial vehicles and spatial thinking: Boarding education with geotechnology and drones. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5, 8–18.
- Gonizzi Barsanti, S., Caruso, G., Micoli, L. L., Covarrubias Rodriguez, M., & Guidi, G. (2015). 3D visualization of cultural heritage artefacts with virtual reality devices. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 165–172.
- Han, D.-I., Jung, T., & Tom Dieck, M. C. (2019). Translating tourist requirements into mobile AR application engineering through QFD. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 35(19), 1842–1858.
- Hammady, R., Ma, M., & Strathearn, C. (2020). Ambient information visualisation and visitors’ technology acceptance of mixed reality in museums. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, 13(2), 1–22.
- Ikeda, S., Taketomi, T., Okumura, B., Sato, T., Kanbara, M., Yokoya, N., & Chihara, K. (2008). Real-time outdoor pre-visualization method for videographers: Real-time geometric registration using point-based model. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 949–952). IEEE.
- Janssen, D., Tummel, C., Richert, A., & Isenhardt, I. (2016). Virtual environments in higher education: Immersion as a key construct for Learning 4.0. *International Journal of Advanced Corporate Learning*, 9, 20.
- Kharvari, F., & Kaiser, L. E. (2022). Impact of extended reality on architectural education and the design process. *Automation in Construction*, 141, 104393.
- Kotarski, D., Piljek, P., Pranjić, M., Grlj, C. G., & Kasać, J. (2021). A modular multirotor unmanned aerial vehicle design approach for development of an engineering education platform. *Sensors*, 21, 2737.
- Lin, K.-F., Chou, Y.-C., Weng, Y.-H., Chen, Y. T., Lim, Z.-Y., Lin, C.-P., Han, P.-H., & Pan, T.-Y. (2023). Actualities: Seamless live performance with the physical and virtual audiences in multiverse. In *ACM SIGGRAPH 2023 Immersive Pavilion* (pp. 1–2).

- Liono, R. A., Amanda, N., Pratiwi, A., & Gunawan, A. A. S. (2021). A systematic literature review: Learning with visual by the help of augmented reality helps students learn better. *Procedia Computer Science*, 179, 144–152.
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13, 469–486.
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 282–292.
- Mutis, I., & Antonenko, P. (2022). Unmanned aerial vehicles as educational technology systems in construction engineering education. *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 273–289.
- Ogunseiju, O. R., Igwe, U. E., Owolabi, K., Mambo, K. K., Boadu, G., Echeta, J., Edeh, P., & Ekhaese, E. (2022). Mixed reality environment for learning sensing technology applications in construction: A usability study. *Advanced Engineering Informatics*, 53, 101637.
- Safikhani, S., Keller, S., Schweiger, G., & Pirker, J. (2022). Immersive virtual reality for extending the potential of building information modeling in architecture, engineering, and construction sector: Systematic review. *International Journal of Digital Earth*, 15, 503–526.
- Santini, G. (2024). A case study in XR live performance. In *International Conference on Extended Reality* (pp. 286–300). Springer.
- Scippo, S., Luzzi, D., Cuomo, S., & Ranieri, M. (2024). Innovative methodologies based on extended reality and immersive digital environments in natural risk education: A scoping review. *Education Sciences*, 14, 885.
- Shin, M., Kim, B.-S., & Park, J. (2005). AR storyboard: An augmented reality-based storyboard authoring tool. In *Proceedings of the 4th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 98–99).
- Shirzadian, N., Redi, J. A., Röggla, T., Panza, A., Nack, F., & Cesar, P. (2017). Immersion and togetherness: How live visualization of audience engagement can enhance music events. In S. Arnab et al. (Eds.), *Advances in Computer Entertainment Technology: ACE 2017* (pp. 488–507). Springer.
- Suryodiningrat, S. P., Ramadhan, A., Prabowo, H., Santoso, H. B., & Hirashima, T. (2024). Mixed reality systems in education: A systematic literature review. *Journal of Computers in Education*, 11, 855–878.

- Tai-Chen Tsai, T.-C., Chen, Y.-H., Hu, M.-C., & Pan, T.-Y. (2024). DualStage: Enhancing emotional connections through music visualization for synchronizing live and virtual performances. In *Companion of the 2024 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing* (pp. 771–775).
- Thomas, G. (2005). Mixed reality techniques for TV and their application for on-set and pre-visualization in film production. In *International Workshop on Mixed Reality Technology for Filmmaking* (pp. 31–36).
- Turchet, L., Hamilton, R., & Çamci, A. (2021). Music in extended realities. *IEEE Access*, 9, 15810–15832.
- Wang, J., Ma, Q., & Wei, X. (2022). The application of extended reality technology in architectural design education: A review. *Buildings*, 13, 2931.
- Yan, S., Yan, X., & Shen, X. (2020). Exploring social interactions for live performance in virtual reality. In *SIGGRAPH Asia 2020 Posters* (pp. 1–2).
- Zappi, V., Berthaut, F., & Mazzanti, D. (2022). From the lab to the stage: Practical considerations on designing performances with immersive virtual musical instruments. In *Sonic Interactions in Virtual Environments*.

CRediT Author Statement

Agradecimentos: Não.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum apoio financeiro.

Conflitos de interesse: Não há conflitos de interesse.

Aprovação ética: O trabalho respeitou a ética durante a pesquisa.

Disponibilidade de dados e materiais: Os dados e materiais utilizados neste trabalho não estão disponíveis para acesso público.

Contribuição dos autores: 16,66% para cada autor.

Processamento e editoração: Editora Ibero-Americana de Educação

Revisão, formatação, normalização e tradução

