

REALIDADE VIRTUAL PARA FORMAÇÃO DE ESTUDANTES EM SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO: INOVAÇÃO BASEADA EM REVISÃO DE LITERATURA

VIRTUAL REALITY FOR TRAINING STUDENTS IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY: INNOVATION BASED ON LITERATURE REVIEW

Sabrina Santiago Oliveira¹, Alfredo Soeiro², Bianca M. Vasconcelos³

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; up202302260@g.uporto.pt; ORCID 0000-0003-3930-4135

² Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; avsoeiro@fe.up.pt; ORCID 0000-0003-4784-959X

³ Universidade de Pernambuco; bianca.vasconcelos@upe.br; ORCID 0000-0002-5968-9581

Abstract

Background: The construction industry is responsible for a fifth of all fatal workplace accidents in Europe. This shows that the construction industry's poor safety performance is a major problem on construction sites. One of the possible causes of this deficit is the lack of safety education in construction courses. **Objective:** To innovate in teaching occupational safety and health, this article used the Design Thinking Method to obtain answers about the use of virtual reality (VR) as a form of practical teaching about safety in construction. **Materials and methods:** An adaptation of the Design Thinking Method and a Systematic Literature Review using the PRISMA method were used to obtain answers about the feasibility of VR training. **Results:** The tool presented consists of a compilation of the traditional teaching approach, theoretical classes, and VR, practical classes, using interaction during immersion and negative reinforcements. **Conclusion:** Virtual reality can be used to educate future engineers and architects about construction safety. However, only for the practical phase of teaching, as some studies have proven that the acquisition of theoretical knowledge on the subject is more effective in the traditional teaching method.

Keywords: education, students, Safety, AEC, virtual reality.

Resumo

Introdução: A indústria da construção civil é responsável por um quinto de todos os acidentes mortais no local de trabalho na Europa. Mostrando um baixo desempenho de segurança da indústria da construção é um grande problema nos estaleiros. Uma das possíveis causas desse déficit é a falta de ensinamento em segurança nos cursos da área de construção. **Objetivo:** Inovar no ensino de segurança e saúde ocupacional, este artigo utilizou o Método Design Thinking para obter respostas sobre o uso da realidade virtual (VR) como forma de ensino prático da segurança na construção. **Materiais e métodos:** Uma adaptação do Método Design Thinking e uma Revisão Sistemática de Literatura utilizando o método PRISMA foram utilizados para obter respostas sobre a viabilidade do treinamento em RV. **Resultados e discussão:** A ferramenta apresentada consiste no compilado da abordagem tradicional de ensino, aulas teóricas, e a RV, aulas práticas, utilizando a interação durante a imersão e os reforços negativos. **Conclusões:** A utilização da realidade virtual para educar os futuros engenheiros e arquitetos sobre a segurança do trabalho na construção pode ser utilizada. Contudo, apenas para a fase prática do ensino, pois alguns estudos comprovaram que a aquisição do conhecimento teórico sobre o assunto é mais eficaz no método tradicional de ensino.

Palavras-chave: educação, estudantes, segurança, AEC, realidade virtual.

Introdução

A indústria da construção (IC) foi responsável por quase 20% de todas as lesões ocupacionais fatais nos EUA de 2015 a 2019 (Bureau of Labor Statistics, 2020). Já na Europa, um quinto de todos os acidentes mortais no local de trabalho ocorrem na indústria da construção, que regista a taxa de acidentes mais elevada entre as indústrias (EUROSTAT, 2022). Esses dados mostram que o baixo desempenho de segurança da indústria da construção é um problema perene e resulta em uma taxa crescente de lesões e acidentes em estaleiros de construção (Shao *et al.*, 2019).

Uma das possíveis causas para esse déficit de segurança é a falta de conhecimentos e prática de segurança adequados dentro desses estaleiros (Erita *et al.*, 2019). Pois, mesmo a educação e o treinamento em gestão de segurança sendo essenciais para promover o conhecimento e a cultura de segurança na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (Bin *et al.*, 2019). Essas áreas ainda são ambientes perigosos e extremamente arriscados para estudantes e estagiários inexperientes (Yang & Goh, 2022). O que acarreta nos alunos não recebem exposição suficiente a ambientes de trabalho realistas e complexos para obter as experiências necessárias para atuar com segurança no setor (Le *et al.*, 2014).

A ausência de exposição ao ambiente construtivo dificulta aos estudantes adquirir conhecimento sobre a prática em segurança na construção. Além disso, o atual sistema de educação e formação em gestão de segurança tem muitas inadequações, levando a falta de preparação dos alunos para o trabalho no local (Yang & Goh, 2022). Pois, os métodos tradicionais de ensino, com mídias como documentos em papel, apresentações de slides e vídeos, não são suficientemente envolventes para estudantes de graduação (Wang *et al.*, 2018; Yang & Goh, 2022). O que deixa os alunos desmotivados para aprender sobre o assunto e reduzindo ainda mais a eficácia da aula (Pedro *et al.*, 2016).

Deste modo, é um grande desafio a falta de métodos viáveis para preparar os estudantes de AEC com conhecimento e experiência suficientes em gestão de segurança num ambiente seguro e livre de perigos, sendo necessários sistemas de ensino e atividades de aprendizagem mais envolventes para melhorar a aprendizagem desses alunos (Yang & Goh, 2022). O que torna notável a necessidade de investimento em inovação na forma de ensino dos cursos relacionados a essa gestão de saúde e segurança. Principalmente ao observar que os estudantes de engenharia civil são os futuros gestores dos estaleiros e em breve atuarão na indústria da construção (Comu *et al.*, 2021).

Existem diversos métodos de inovar no setor do ensino da construção, mas o Design Thinking (DT), criada por John E. Arnold na década de 1960, se destaca por sua abordagem de resolução de problemas centrada no ser humano (Kopackova *et al.*, 2024). Ele envolve a compreensão das necessidades dos usuários, a geração de soluções criativas, promove a reflexão aplicada e utiliza uma abordagem holística que se baseia na compreensão das experiências dos envolvidos (Cross, 2011; Von Thienen *et al.*, 2023; Novo *et al.*, 2023; Kopackova *et al.*, 2024). Cada fase do processo do DT possui seus métodos e ferramentas, possibilitando criar soluções inovadoras e significativas que abordam os desafios do mundo real. (Griffith & Lechuga-Jimenez, 2024). O que o torna uma abordagem adequada para projetar ou redesenhar cursos universitários e programas de estudo. (Kopackova *et al.*, 2024).

Com o objetivo de inovar no ensino de segurança e saúde ocupacional, este artigo utilizou o Método Design Thinking para obter respostas sobre o uso da realidade virtual (VR) como forma de ensino prático da segurança na construção.

Materiais e métodos

Para a realização deste estudo foi utilizado o Método de inovação Design Thinking e suas respectivas etapas de avaliação e criação.

Design Thinking (DT)

O DT, criada por John E. Arnold na década de 1960, é um método de inovação eficaz para o setor da educação. Pois possui uma base sólida que, muitas vezes, apresenta uma série de ações e etapas, mas não possui um modelo único (Griffith & Lechuga-Jimenez, 2024). Já foram identificadas diversas adaptações do Design Thinking (IDEO, 2011; Liedtka & Ogilvie, 2011; Plattner *et al.*, 2011). A versão utilizada aqui, presentes na Figura 1, foi uma adaptação da desenvolvida por Plattner *et al.* (2011).



Figura 1. Adaptação do Método Design Thinking (Adaptado de Plattner et al., 2011).

A adaptação apresenta 4 etapas, sendo elas: problematizar, etapa de identificação do problema que se quer resolver; explorar, realização de pesquisas para obter um melhor entendimento sobre os problemas e a solução provável; definir, averiguar os resultados obtidos na fase anterior; idealizar, criar a solução mais provável de ser utilizada. A primeira fase, problematizar, está presente como introdução deste estudo. A segunda fase, explorar, foi feita a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura, e as duas últimas são consequência do resultado desta.

Exploração

A fase de exploração foi feita a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) seguindo as orientações do método Transparent Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA), desenvolvido por Liberati *et al.* (2009). Para isso foram utilizadas as bases de dados SCOPUS, Web of Science e Engineering Village, aplicando as palavras-chave como string de busca, em inglês, por motivo de abrangência, ((“education” OR “Training” OR “class” OR “student”) AND (“University” OR “graduation”) AND (“Occupational health” OR “Safety”) AND (“construction” OR “AEC” OR “Civil engineering” OR “Architect”) AND (“Virtual reality” OR “VR”)). A seleção dos artigos foi feita através de critérios de inclusão e exclusão.

Para a Exclusão, primeiramente, foi aplicado o filtro de seleção por tempo, abrindo os artigos publicados nos anos de 2014 à 2023. Após a exclusão deste foram retirados os artigos de revisão de literatura e que não possuam o estudo concluído.

Para os critérios de inclusão foram selecionados os artigos que abordavam sobre o treinamento de segurança na construção utilizando realidade virtual com estudantes universitários.

Definição

Para a definição foi feita a análise dos artigos obtidos através da RSL com o intuito de responder as seguintes perguntas:

- Quais os resultados que estão sendo obtidos sobre a captação de conhecimento em segurança na construção através do ensino utilizando a realidade virtual?
- Como a interação dentro da realidade virtual está beneficiando o ensino da segurança na construção?
- Quais as respostas a utilização dos reforços negativos para os treinamentos em segurança com a utilização da realidade virtual?

Idealização

Para esta fase será idealizada a ferramenta para a inovação no ensino em SSO na construção para os estudantes universitários da área.

Resultados e discussão

Os Resultados foram divididos em 3 etapas, sendo elas Exploração, Definição e Idealização. A primeira delas apresenta os resultados obtidos da RSL, a segunda aborda a análise destes resultados e a terceira se trata da idealização da ferramenta de inovação.

Exploração

A partir das pesquisas, dentro das bases de dados, afim de obter artigos que sobre o tema estudado, foram obtidos 226 artigos e, a partir destes, foi realizada a seleção/separação (presente na Figura 2), utilizando o método PRISMA, para obtenção de artigos específicos sobre o tema estudado.

Identificação	Artigos identificados através da busca nas Bases de Dados SCOPUS, Web of Science e Engineering Village. (N = 226)	
Seleção	Artigos selecionados para aplicação do filtro ano de publicação (N = 226)	Artigos excluídos pelo Critério de ano de publicação (N = 22)
	Artigos selecionados para leitura do título (N = 204)	Artigos excluídos por título (N = 90)
	Artigos Selecionados para Leitura do resumo (N = 114)	Artigos excluídos por resumo, sem acesso e duplicatas (N = 65)
Elegibilidade	Artigos Selecionados para leitura integral do texto (N = 49)	Texto de artigos completo excluídos (N = 37)
Incluídos	Número de artigos incluídos na síntese qualitativa desta revisão (N = 12)	

Figura 2. Processo de Seleção dos artigos (Adaptado de Liberati et al., 2009)

Como visto na Figura 2, inicialmente foram obtidos 226 artigos, sendo 22 na base de dados SCOPUS, 55 na Web of Science e 149 na Engineering Village. Após a aplicação dos filtros e leitura dos títulos destes, foram selecionados 114 artigos para a próxima fase (excluídos 112). Com a leitura dos resumos realizada, foram excluídos 65 artigos, sendo 7 artigos eram duplicatas presentes entre as bases de dados e 2 não foram possíveis de obter acesso, sobrando 49 para a fase de leitura integral. Após a leitura deste, foram excluídos 37 artigos devido aos critérios de inclusão e Exclusão do estudo. Sobrando 12 artigos, presentes na Tabela 1, que foram analisados integralmente para esta revisão.

Tabela 1. Artigos analisado na RSL (Autores, 2024).

Autores	País do Estudo	Título
Adami <i>et al.</i> (2023)	EUA	Participants matter: Effectiveness of VR-based training on the knowledge, trust in the robot, and self-efficacy of construction workers and university students
Comu <i>et al.</i> (2021)	Turquia	Evaluating the attitudes of different trainee groups towards eye tracking enhanced safety training methods

Autores	País do Estudo	Título
Luo <i>et al.</i> (2023)	China	Investigating the impact of scenario and interaction fidelity on training experience when designing immersive virtual reality-based construction safety training
Le <i>et al.</i> (2015)	Coreia do Sul	A Framework for Using Mobile Based Virtual Reality and Augmented Reality for Experiential Construction Safety Education
An <i>et al.</i> (2023)	China	Evaluation of Virtual Reality Application in Construction Teaching: A Comparative Study of Undergraduates
Abotaleb <i>et al.</i> (2022)	Egito	An interactive virtual reality model for enhancing safety training in construction education
Yang & Goh (2022)	Singapura	VR and MR technology for safety management education: An authentic learning approach
Shi <i>et al.</i> (2019)	EUA	Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality
Wolf <i>et al.</i> (2022)	Alemanha	Investigating hazard recognition in augmented virtuality for personalized feedback in construction safety education and training
Han <i>et al.</i> (2022)	China	Process and Outcome-based Evaluation between Virtual Reality-driven and Traditional Construction Safety Training
Lu & Davis (2018)	Australia	Priming effects on safety decisions in a virtual construction simulator
Shringi <i>et al.</i> (2023)	Austrália	Enhancing Safety Training Performance Using Extended Reality: A Hybrid Delphi–AHP Multi-Attribute Analysis in a Type-2 Fuzzy Environment

A tabela 1 apresenta os 12 artigos selecionados para análise, abordando suas citações, países de estudo e títulos. Já a Tabela 2 apresenta os periódicos aos quais os artigos pertenciam.

Tabela 2. Periódicos dos artigos (Autores, 2024).

Periódico	No. de Estudos
Advanced Engineering Informatics	4
Developments in the Built Environment	1
International Journal of Engineering Education	1
Applied Sciences	1
Computer Applications in Engineering Education	1
Safety Science	1
Automation in Construction	1
Engineering, Construction and Architectural Management	1
Buildings	1

Analisando a Tabela 2, é notável que o periódico *Advanced Engineering Informatics* se destacou no interesse pelo tema, apresentando 4 das 12 publicações analisadas neste estudo. A Figura 2 apresenta a quantidade de publicações separadas pelos anos.

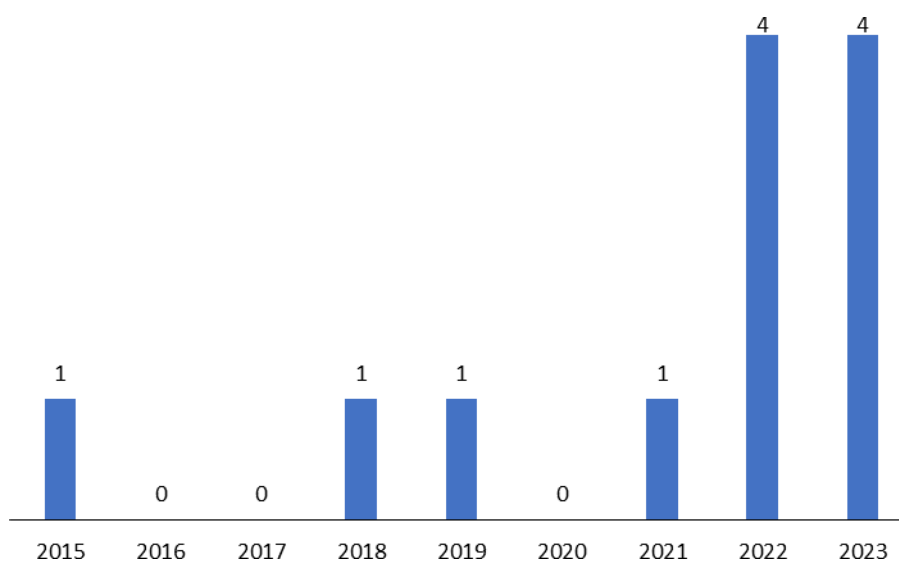


Figura 3. Anos de publicação dos artigos selecionados (Autores, 2024)

Como é possível observar na Figura 3, os anos 2022 e 2023 foram os que mais apresentaram publicações sobre a educação em segurança na construção com a utilização de realidade virtual. Mostrando um crescente interesse sobre o tema na atualidade. A Tabela 3 informa os temas dos cursos abordados pelos artigos analisados.

Tabela 3. Assuntos dos cursos em realidade virtual criados (Autores, 2024)

Tema do treinamento	No. de artigos
Robô de demolição	1
EPI	1
Montagem de andaime	1
Identificação de riscos	2
Operação com empilhadeira	1
Aplicação de manta de impermeabilização quente	1
Segurança geral	2
Trabalho em altura	4
Investigação de acidentes	1

Os temas mais abordados para os treinamento de segurança aplicando a realidade virtual, conforme visto na Tabela 3, são trabalho em altura, Identificação de riscos e segurança geral presentes em 4, 2 e 2 estudos, respectivamente. A escolha pelo tema trabalho em altura deve ocorrer pelo fato de estes trabalhos em canteiros de obras estarem associados ao maior índice de acidentes de trabalho (Newaz *et al.*, 2022).

Definição

Ao analisar os artigos com o objetivo de identificar a viabilidade da utilização da ferramenta realidade virtual para inovar no ensino de segurança e saúde do trabalho na construção, foi responder as perguntas que definidas para esta fase.

Realidade Virtual (RV)

Para um melhor entendimento sobre o conteúdo, a realidade virtual se destaca devido a possibilidade de gerar um espaço artificial, proporcionando a experiência de imersão e envolvimento pela interação entre hardware, software e sentidos humanos (Orihuela *et al.*, 2019). Ela pode ser utilizada para a segurança do trabalho na construção, possibilitando criar ambientes virtuais que podem imitar de perto as condições em canteiros de obras reais, para identificar riscos de segurança em tempo hábil e tomar ações evasivas usando ambientes de construção virtuais (Albert *et al.*, 2014; Perlman *et al.*, 2014).

Com isso, o ensino baseado em realidade virtual é um meio cada vez mais popular para aplicação de educação e formação (Yang & Goh, 2022; Davila Delgado *et al.*, 2020). Pois tal tecnologia permite a imersão de estudantes, sem conhecimento da prática de construção, para experimentarem as sensações de estarem dentro de um estaleiro, possibilitando a ampliação do conhecimento sobre o tema sem a exposição aos riscos presentes na obra.

Captação de conhecimento a partir da Realidade Virtual

Estudos demonstraram que a simulação digital pode promover uma aprendizagem mais eficaz do que as abordagens tradicionais de ensino em ambientes de sala de aula (Amory, 2018; Lee *et al.*, 2020). Contudo, ao analisar os estudos para a realização do presente artigo, foi notável que alguns deles afirmam que a retenção do conteúdo teórico a partir dos treinamento utilizando a realidade virtual não são tão eficazes quando os métodos tradicionais (Yang & Goh, 2022; Park *et al.* 2013; Shringi *et al.*, 2023; An *et al.*, 2023). Entretanto, quando o aprendizado prático é abordado o método possui uma ótima avaliação (Yang & Goh, 2022; Park *et al.* 2013; An *et al.*, 2023; Le *et al.*, 2016).

Deste modo, a Realidade Virtual é bastante vista para a utilização na estrutura de aprendizagem autêntica, que consiste em fazer os alunos aplicarem os conhecimentos teóricos, adquiridos de forma tradicional, em um contexto prático, de modo a melhorar a compreensão e motivar os alunos a aprender (Bhagat & Huang, 2018; Yang & Goh, 2022). Inúmeros estudos afirmam que o treinamento prático, experiências no local e cenários realistas de resolução de problemas são bastante importantes para os estudos na educação em gestão de segurança (Dhalmahapatra *et al.*, 2020; Le *et al.*, 2016), o que torna a aprendizagem autêntica uma pedagogia orientadora adequada para a educação em gestão de segurança na construção usando mídia RV (Lee *et al.*, 2020). A união da RV e educação em segurança na construção, para identificação de riscos, tem um enorme potencial, permitindo melhorar a aquisição do conhecimento dos alunos Segundo (Le *et al.*, 2015; Abortaleb *et al.*, 2022).

Imersão e Interação na Realidade Virtual

Ao observar os dados obtidos a partir dos artigos analisados, foi possível determinar que 83% deles utilizaram a interação dentro da imersão em realidade virtual como ferramenta de aprendizado. Vários estudos apontam que a qualidade da interação tem um impacto positivo no desempenho de segurança dos alunos participantes destas pesquisas (Jeelani *et al.*, 2019; Hasanzadeh *et al.*, 2017).

O estudo realizado por Wolf *et al.* (2022) utilizou a interação dentro do ambiente virtual de modo as ações realizadas pelos treinados acarretarem em uma avaliação/feedback. No estudo, quando o aluno executava a ação insegura a informação era registrada e no fim do treinamento ele obtinha um feedback, liberado pelo sistema, com o que estava certo e errado, semelhante a um jogo atual. Já no estudo realizado por Luo *et al.* (2023), que realizou um treinamento em realidade virtual para ensinar como utilizar uma máquina de demolição com segurança, foi feita a interação de modo idêntico aos mecanismos presentes na máquina, sendo até as funcionalidades dos botões semelhantes ao equipamento real. Contudo, no estudo, os autores confirmaram que a alta fidelidade do cenário pode ter menos impacto na sensação de presença e usabilidade principalmente devido ao fato de que pode aumentar a carga cognitiva dos usuários à medida que a cena se torna mais complicada (Luo *et al.*, 2023).

Além do que foi dito, alguns autores também afirmam que estímulos auditivos auxiliam na atenção e compreensão dos riscos. No estudo realizado por Lu e Davis (2018), foi incluída simulação do som do estaleiro e obra e a interação de personagens que se comunicam com o aluno que está no treinamento gritando para ele não ir por um caminho inseguro, o que faz o mesmo prestar atenção nos avisos presentes no sítio e seguir o caminho correto.

Reforços Negativos Aplicados na Realidade Virtual

Reforços negativos são quando os treinados ao executar uma ação insegura são expostos a visualização ou aplicação de consequências negativas com o objetivo de impedir que reproduzam comportamentos semelhantes. (Shi *et al.*, 2019; Jensen & Akers, 2017). A aplicação de reforços positivos e negativos afetam os trabalhadores da construção na formação em segurança (Shi *et al.*, 2019). O entendimento sobre o tema é bastante incerto, visto que diversos autores divergem sobre a contribuição destes reforços para o ensinamento de segurança.

O estudo realizado por (Lu & Davis, 2018) afirma que os simuladores devem conter “armadilhas” que irão mostrar fazer com que os alunos sofram possíveis consequências de ações inseguras, confirmando que o reforço negativo contribui para o ensinamento da prática em segurança. Já no estudo de Shi *et al.* (2019) os autores levam o reforço negativo como gerador de ações inseguras, nesse caso quando o aluno vê um dos personagens sofrer uma queda em altura ele se desespera e tenta realizar a atividade o mais rápido possível, sem prestar atenção se está fazendo da forma segura. Enquanto, quando não há a consequência negativa, o mesmo se mantém atento e continua com o comportamento seguro esperado. Mostrando que a aprendizagem com reforços negativos podem desencadear processos psicológicos mais complexos, tornando os resultados menos previsíveis.

Idealização

A educação em segurança nas universidades oferece uma oportunidade para preparar o futuro do pessoal envolvido nos projetos de construção (Le *et al.*, 2015). Estudos demonstraram que as visualizações 3D são mais intuitivas para os alunos e mais eficazes para o ensino da construção e da gestão da segurança do que os meios de ensino e os métodos tradicionais (Yang & Goh, 2022). Envolver os alunos nos ambientes virtuais interativos proporciona-lhes ativamente à sua aprendizagem, melhorando a sua percepção dos riscos de segurança e a capacidade de tomada de decisões, que são competências essenciais de gestão da segurança (Dhalmahapatra *et al.*, 2020). Proporcionando Deste modo, fornecer um ambiente de treinamento seguro, onde erros podem ser cometidos sem sofrer consequências físicas podem proporcionar experiências para os alunos, visando um melhor desenvolvimento nos ambientes de trabalho no futuro. (Wolf *et al.*, 2022)

Com isso, a ideia é desenvolver uma disciplina específica que ensine saúde e segurança ocupacional na construção civil aos alunos de engenharia civil e arquitetura. Esses alunos passariam por aulas teóricas, utilizando o método tradicional em sala de aula, e no final de cada conteúdo seriam submetidos a imersões em realidade virtual, para que possam identificar as falhas de segurança, relacionadas ao conteúdo ministrado, possíveis de serem vistas nos estaleiros, sem que sejam expostos aos riscos presentes nestes.

Tal treinamento em RV permitiria a imersão e interação com o ambiente, possibilitando aos alunos a sensação de realmente estarem em um sítio de construção. Além disso, em determinados conteúdos com a segurança de trabalhos em altura ou em espaços confinados, os estudantes seriam submetidos a reforços negativos, de modo a elevar o entendimento deles sobre as consequências de ações inseguras quando estão expostos às atividades de alto risco.

Conclusões

As conclusões obtidas a partir deste estudo afirmam que a utilização da realidade virtual para educar os futuros engenheiros e arquitetos sobre a segurança do trabalho na construção pode ser utilizada. Contudo, apenas para a fase prática do ensino, pois alguns estudos comprovaram que a aquisição do conhecimento teórico sobre o assunto é mais eficaz no método tradicional de ensino.

Além disso, também foi identificado que a utilização da interação com objetos durante a imersão na RV trás benefícios para o aprimoramento da aprendizagem. Com relação a utilização dos reforços negativos, foi identificada a necessidade de mais estudos que abordem sobre a eficácia de sua implementação nos treinamentos de segurança para universitário.

A ferramenta apresentada como resultado da inovação consistem em um compilado da abordagem tradicional de ensino, para as aulas teóricas, e a RV, para as aulas práticas, utilizando a interação durante a imersão e os reforços negativos, para aprimorar os resultados sobre este.

Para estudo futuros, seria indicado a implementação da ferramenta de inovação, como um workshop ou aulas optativas, para alunos de arquitetura e/ou engenharia, de modo a verificar a real eficácia da forma desta forma de ensino.

Referências

- Abotaleb, I., Hosny, O., Nassar, K., Bader, S., Elrifae, M., Ibrahim, S., Hakim, Y. E., Sherif, M. (2022) An interactive virtual reality model for enhancing safety training in construction education. *Computer Applications in Engineering Education*, 31, 2, 324-345. <https://doi.org/10.1002/cae.22585>
- Adami, P., Singh, R., Rodrigues, P. B., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L., Copur-Gencturk, Y., Lucas, G. (2023). Participants matter: Effectiveness of VR-based training on the knowledge, trust in the robot, and self-efficacy of construction workers and university students. *Advanced Engineering Informatics*, 55, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101837>
- Albert, A., Hallowell, M. R., Kleiner, B., Chen, A., Golparvar-Fard, M.. (2014). Enhancing construction hazard recognition with high-fidelity augmented virtuality, *J. Constr. Eng. Manag.* [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000860](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000860).
- Amory, A. (2018). Use of the Collaboration-Authentic Learning-Technology/Tool Mediation Framework to Address the Theory-Praxis Gap. In 61–73.
- An, D., Deng, H., Shen, C., Xu, Y., Zhong, L., Deng, Y. (2023). Evaluation of Virtual Reality Application in Construction Teaching: A Comparative Study of Undergraduates. *Applied sciences*, 13, 10, 6170. <https://doi.org/10.3390/app13106170>
- Bhagat, K., Huang, R. (2018). Improving Learners' Experiences Through Authentic Learning in a Technology-Rich Classroom. In 3–15.
- Bin, F., Xi, Z., Yi, C., Ping, W.G. (2019). Construction safety education system based on virtual reality. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 563 (4), 042011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/563/4/042011>.
- Bureau of Labor Statistics. (2020). National Census of Fatal Occupational Injuries in 2019. (USDOL-20-2265). Retrieved from <https://www.bls.gov/news.release/pdf/cfoi.pdf>.
- Comu, S., Kazar, G., Marwa, Z. (2021). Evaluating the attitudes of different trainee groups towards eye tracking enhanced safety training methods. *Advanced Engineering Informatics*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101353>.
- Cross, N. (2011). *Design Thinking: Understanding How Designers Think and Work*; Berg Publishers: Oxford, UK.
- Davila Delgado, J. M., Oyedele, L., Demian, P., Beach, T. (2020). A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction, *Adv. Eng. Inform.*, 45, 1–21, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122>.
- Dhalmahapatra, K., Das, S., Maiti, J. (2020). On accident causation models, safety training and virtual reality. *Int. J. Occupational Saf. Ergon.* 1–17 <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1766290>.
- Erita, M., Osman, M., Saud, M. (2019). Investigating the safety cognition of construction personnel based on safety education. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 513, 012033 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/513/1/012033>.
- EUROSTAT. (2022). Accident at work statistics. available at: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics.
- Griffith, M., Lechuga-Jimenez, C. (2024). Design Thinking in Higher Education Case Studies: Disciplinary Contrasts between Cultural Heritage and Language and Technology. *Education Scences.*, 14, 90. <https://doi.org/10.3390/educsci14010090>

- Han, Y., Yang, J., Diao, Y., Jin, R., Guo, B., Adamu, Z. (2022). Process and Outcome-based Evaluation between Virtual Reality-driven and Traditional Construction Safety Training. *Advanced Engineering Informatics*, 52, 101634. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101634>
- Hasanzadeh, S., Esmacili, B., Dodd, M. D. (2017). Measuring the impacts of safety knowledge on construction workers' attentional allocation and hazard detection using remote eye-tracking technology, *J. Manag. Eng.* [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000526](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000526).
- IDEO. (2011). The Human-Centered Design Toolkit. Available online: <https://www.ideo.com/post/designkit>
- Jeelani, I., Albert, A., Han, K., Azevedo, R. (2019). Are visual search patterns predictive of hazard recognition performance? Empirical investigation using eye-tracking technology, *J. Constr. Eng. Manag.* [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001589](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001589).
- Jensen, G. F., & Akers, R. L. (2019). The empirical status of social learning theory of crime and deviance: the past, present, and future, *Taking Stock*, Routledge, 45–84.
- Kopackova, H., Simonova, S., Reimannova, I. (2024). Digital transformation leaders wanted: How to prepare students for the ever-changing demands of the labor market. *The International Journal of Management Education*, 22, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.100943>
- Le, Q. T., Pedro, A., Lim, C. R., Park, H. T., Park, C. S. (2015). A Framework for Using Mobile Based Virtual Reality and Augmented Reality for Experiential Construction Safety Education. *International Journal of Engineering Education*, 31, 3, 713–725.
- Le, Q. T., Pedro, A., Pham, H. C., Park, C. (2016). A Virtual World Based Construction Defect Game for Interactive and Experiential Learning. *Int. J. Eng. Educ.* 32, 457–467.
- Le, Q.T., Pedro, A., Park, C.S. (2014). A Social Virtual Reality Based Construction Safety Education System for Experiential Learning. *J. Intell. Robot Syst.* 79 (3-4), 487–506. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0112-z>.
- Lee, Y. Y. R., Samad, H., Goh, Y. M. (2020). Perceived Importance of Authentic Learning Factors in Designing Construction Safety Simulation Game-Based Assignment: Random Forest Approach. *J. Construct. Eng. Manage.* 146 (3), 04020002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001779](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001779).
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., Moher, D. (2009). Annals of Internal Medicine Academia and Clinic The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions. *Annals of Internal Medicine*, 151, 4. <https://doi.org/10.1136/bmj.b2700>
- Liedtka, J., Ogilvie, T. *Designing for Growth: A Design Thinking Tool Kit for Managers*; Columbia University Press: New York, NY, USA, 2011.
- Lu, X., & Davis, S. (2018). Priming effects on safety decisions in a virtual construction simulator. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25, 2, 273-294. [10.1108/ECAM-05-2016-0114](https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0114)
- Luo, Y., Ahn, S., Abbas, A., Seo, J., Cha, S. H., Kim, J. I. (2023). Investigating the impact of scenario and interaction fidelity on training experience when designing immersive virtual reality-based construction safety training. *Developments in the Built Environment*, 16, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100223>
- Newaz M. T., Ershadi M., Carothers L., Jefferies M., Davis P. (2022). A review and assessment of technologies for addressing the risk of falling from height on construction sites. *Saf. Sci.*, 147, 105618.
- Novo, C., Tramonti, M., Dochshanov, A.M., Tuparova, D., Garkova, B., Eroglan, F., Uğraş, T., Yücel-Toy, B., Vaz de Carvalho, C. (2023). Design Thinking in Secondary Education: Required Teacher Skills. *Educ. Sci.*, 13, 969.
- Orihuela, P., Noel, M., Pacheco, S., Orihuela, J., Yaya, C., Aguilar, R. (2019). Application of virtual and augmented reality techniques during design and construction process of building projects. in Pasquire, C. and Hamzeh, F.R. (Eds), *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Dublin, pp. 1105-1116, doi: 10.24928/2019/0220.
- Park, C. S., Kim, H. J. (2013). A framework for construction safety management and visualization system. *Autom. Constr.*, 33, 95–103.
- Pedro, A., Le Quang, T., Park Chan, S. (2016). Framework for Integrating Safety into Construction Methods Education through Interactive Virtual Reality. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 142 (2), 04015011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000261](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000261).
- Perlman, A., Sacks, R., Barak, R. (2014). Hazard recognition and risk perception in construction. *Saf. Sci.*, 64, 22–31.

- Plattner, H.; Meinel, C., Leifer, L. (Ed.). (2011). Design Thinking. Understand-Improve-Apply; Hasso-Plattner- Institute for Software Systemtechnik; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- Shao, B., Hu, Z., Liu, Q., Chen, S., He, W. (2019). Fatal accident patterns of building construction activities in China, *Saf. Sci.* 111, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.019>.
- Shi, Y., Du, J., Ahn, C. R., Ragan, E. (2019). Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. *Automation in Construction*, 104, 197-214. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.015>
- Shringi, A., Arashpour, M., Golafshani, E. M., Dwyer, T., Kalutara, P. (2023). Enhancing Safety Training Performance Using Extended Reality: A Hybrid Delphi–AHP Multi-Attribute Analysis in a Type-2 Fuzzy Environment. *Buildings*, 13, 625. <https://doi.org/10.3390/buildings13030625>
- Von Thienen, J. P. A., Weinstein, T. J., Meinel, C. (2023). Creative metacognition in design thinking: Exploring theories, educational practices, and their implications for measurement. *Front. Psychol.*, 14, 1157001.
- Wang, P., Wu, P., Wang, J., Chi, H.-L., Wang, X. (2018). A Critical Review of the Use of Virtual Reality in Construction Engineering Education and Training. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, 1204. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061204>.
- Wolf, M., Teizer, J., Wolf, B., Bükür, S., Solberg, A. (2022). Investigating hazard recognition in augmented virtuality for personalized feedback in construction safety education and training. *Advanced Engineering Informatics*, 51, 101469. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101469>
- Yang, F., Goh, Y.M. (2022). VR and MR technology for safety management education: An authentic learning approach, *Safety Science*, 148, 105645. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105645>