

Realidade Virtual aplicada à Segurança do Trabalho na Construção Civil: uma revisão sistemática da literatura

Virtual Reality in construction work safety: a systematic review

Neto, L.¹; Manta, R.²; Cavalcanti, M.^{2*}; Santos, F.²; Neuwald, A.³; Lins, R.²

RESUMO

A Realidade Virtual – RV pode ser considerada uma importante ferramenta para melhorar o desempenho das construções em relação a segurança do trabalho, no entanto, ainda não é amplamente utilizada. Desta forma, o objetivo deste artigo é identificar, através de uma revisão sistemática da literatura, os diferentes usos e possibilidades da aplicação da RV, que contribuem de forma a proporcionar uma maior segurança para o trabalhador na construção. A metodologia utilizada para a realização da revisão sistemática e metanálise, seguiu as diretrizes do PRISMA – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*. Dessa forma, foram identificados 993 artigos, e após a aplicação dos filtros e critérios de exclusão, foram selecionados 33 artigos de periódicos a serem incluídos na metanálise. Através da revisão, percebe-se que a utilização da RV na segurança do trabalho ainda se encontra concentrada para treinamento de trabalhadores, embora crescente sua utilização como ferramenta de avaliação e identificação de riscos ocupacionais. Em relação aos riscos identificados e avaliados nas aplicações de RV nos artigos, verificou-se a prevalência de riscos de queda em altura, seguido por ergonômicos.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Segurança do trabalho; Riscos ocupacionais; Construção civil; PRISMA.

ABSTRACT

The Virtual Reality – RV is an important tool to improve construction performance related to work safety. However, the technology has not been commonly used. Thus, through a systematic review, this paper aims to identify RV's different uses and possibilities to collaborate with increasing construction work safety. The research methods considered the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis – PRISMA guidelines. The research found 993 articles, but 33 passed the selection criteria and composed the meta-analysis. The findings showed that RV in workplace safety is still focused on workers' training, although its use in occupational risk identification and assessment tools is increasing. In addition, falls from height risks, followed by ergonomic risks, are the most recurrent risks identified and assessed in RV applications.

Keywords: Virtual Reality; Work Safety; Occupational Risks; Construction; PRISMA.

¹ Faculdade Prominas

² Universidade de Pernambuco

³ Universidade Católica de Pernambuco

*E-mail: mbtc@poli.br

INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a indústria mundial sofreu mudanças denominadas revoluções industriais. Evoluções motivadas pela necessidade de suprir as necessidades humanas e de mercado, onde a indústria precisa ser cada vez mais ágil e eficiente. Atualmente, vivemos o conceito de indústria 4.0 ou Quarta Revolução Industrial, onde os processos são aprimorados e novas técnicas com evoluções tecnológicas são introduzidas (SILVA JUNIOR; SANTOS; SANTOS, 2020; SIMÃO et al., 2019).

Assim como os demais setores, a indústria da Construção Civil adere paulatinamente ao conceito da Indústria 4.0 e suas evoluções tecnológicas. Apoiada sobretudo, na etapa de projetos ao usar modelagens virtuais e simulação, com a implantação da tecnologia BIM (Building Information Modeling) (Ruschel et al., 2013; Pozin et al., 2016 Cavalcanti et al., 2018; SIMÃO et al. 2019) apud (SILVA JUNIOR; SANTOS; SANTOS, 2020).

O BIM vai muito além da criação de modelos 3D digitais. Com informações incorporadas desde o projeto até a construção e operação, o BIM pode ser uma importante ferramenta, auxiliando na tomada de decisões principalmente durante a fase de projeto (KAMARDEEN, 2010; SILVA et al., 2019). O BIM também pode ser utilizado em diversas aplicações, sendo classificado por alguns autores em dimensões de acordo com sua finalidade, sendo elas a concepção do modelo (3D), construção (simulação de planejamento - 4D), estimativa de custos (5D), sustentabilidade e desempenho energético (6D), e gestão de ativos (7D) (ESTRADA, 2015). De acordo com Karmardeen (2010) a segurança do trabalho pode ser considerada como a oitava dimensão (8D) nos modelos BIM.

Neste contexto da Indústria 4.0, as aplicações BIM, com seus modelos tridimensionais e informações incorporadas, possibilita a implantação de outras ferramentas como a utilização de Realidade Virtual – RV. O uso de tal tecnologia já é utilizado no mercado imobiliário e diversos artigos já citam suas aplicações para a segurança do trabalho na construção, sobretudo no treinamento dos funcionários como pode ser verificado nos trabalhos de Joshi et al. (2021); Sacks, Perlman e Barak (2013) e SHAMSUDIN et al. (2018).

Dados da Organização Internacional do Trabalho (ILO, 2018) estimam que 2,78 milhões de mortes ocorrem anualmente durante atividades ocupacionais. No Brasil, de

acordo com dados da Previdência Social, foram registrados em 2018 um total de 623.786 acidentes, sendo destes, 29.612 na Indústria da Construção (BRASIL, 2019), dados que demonstram a relevância do seu estudo e da importância da implantação de novas tecnologias, como a RV, que auxiliem na identificação e prevenção de riscos ocupacionais e acidentes de trabalho.

Desta forma, o objetivo deste artigo é identificar, através de uma revisão sistemática da literatura científica, os diferentes usos e possibilidades de aplicação da realidade virtual, que contribuem de forma a proporcionar uma maior segurança para o trabalhador na construção.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a realização da revisão sistemática seguiu as diretrizes do PRISMA – Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis (MOHER et al., 2009). O PRISMA trata-se de uma metodologia de revisão sistemática e meta-análise, utilizada por pesquisadores de modo a obter evidências com precisão, confiabilidade e atualidade quanto a determinado tema estudado (LIBERATI et al., 2009).

Os artigos encontrados foram pesquisados na base de dados do Scopus, maior banco de dados de resumos e citações da literatura revisada por pares, entre eles diversos periódicos científicos, livros e anais de conferências. Oferecendo uma visão geral abrangente da produção global de pesquisas nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais, artes e humanidades (BALLEW, 2009; ELSEVIER, 2020).

Para planejamento da pesquisa, em relação a definição do objetivo, discussão e consequentemente das palavras-chave do artigo desenvolvido, foram analisados, primeiramente, alguns estudos referentes ao tema, como os trabalhos de (JOSHI et al., 2021; SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013; SHAMSUDIN et al., 2018). De acordo com as características dos trabalhos analisados, foi criado o quadro 1 com o resumo de todo protocolo da pesquisa de revisão sistemática.

Após a identificação e definição das palavras-chave através dos estudos primários, pesquisas na literatura foram realizadas para encontrar artigos de periódicos relevantes com os critérios estabelecidos, questões de pesquisa e objetivo. A revisão foi realizada através de combinações das palavras-chave operador lógico booleano “AND” (descritas

no protocolo acima, sendo todas em língua inglesa por motivo de abrangência) e pesquisadas na base Scopus através do título, resumo e palavra-chave.

Em seguida foram aplicados critérios de inclusão e exclusão de modo a selecionar os artigos. Uma vez selecionados, foi feita a análise dos dados tabulados em planilha eletrônica do software Microsoft Excel. Os dados obtidos foram compilados em quadros e gráficos, com o intuito de organizar as informações, apresentar os resultados e verificar as questões de pesquisa propostas.

Quadro 1 – Protocolo de revisão sistemática

Item	Conteúdo
Objetivo	Conduzir uma revisão sistemática da literatura científica acerca da aplicabilidade da realidade virtual na segurança do trabalhador em obras da construção civil.
Resultados esperados	Identificar e discutir sobre os diferentes usos da realidade virtual sua contribuição para a segurança do trabalhador na construção civil.
Palavras-chave	<i>Virtual Reality, Construction, 3-D Model, BIM, Prevention through Design. Safety. Occupational safety.</i>
Idioma	Português e Inglês.
Base de dados	Scopus.
Critérios de inclusão (I)	(I) Idioma: Português/ Inglês; (I) Período de publicação: a partir de 2010. (I) Artigos que aplicam a realidade virtual como ferramenta de controle de riscos ocupacionais na construção civil.
Critérios de exclusão (E)	(E) Artigo completo indisponível; (E) Artigo puramente teórico; (E) Aplicação não relacionada a construção civil; (E) Aplicação exclusiva da realidade aumentada; (E) Aplicação não relacionada à segurança ocupacional
Questões de pesquisa	Quais as aplicações da realidade virtual na segurança ocupacional em obras da construção civil? A realidade virtual é uma ferramenta utilizada em aplicações além dos treinamentos na construção? Quais as oportunidades de pesquisas futuras no tema?

Fonte: Neto, Manta, Cavalcanti, Santos, Neuwald e Lins (2022)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

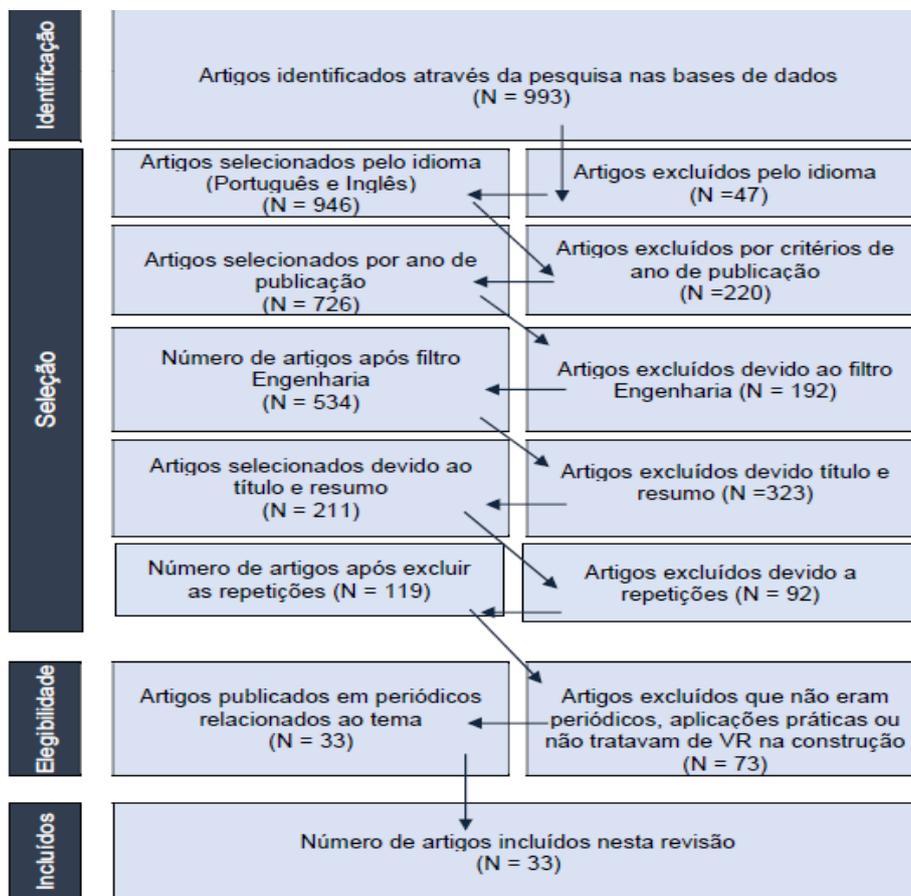
Através da revisão sistemática e metanálise PRISMA, foram identificados 993 artigos, após a aplicação dos filtros e critérios de exclusão, foram selecionados 33 artigos a serem incluídos na metanálise. O fluxograma da figura 1, resume todo o processo. O quadro do apêndice A, por sua vez, resume e agrupa os dados obtidos através dos artigos,

identificando a aplicação da RV, se foi utilizada para treinamento ou identificação/avaliação dos riscos, ferramentas utilizadas e o tipo de risco.

O gráfico da figura 2 mostra a nacionalidade dos pesquisadores envolvidos nas pesquisas dos artigos selecionados na revisão sistemática. A partir dele, é possível perceber que grande parte das pesquisas relacionadas a aplicação Realidade Virtual na segurança ocupacional na Construção Civil é concentrado em 4 países, Estados Unidos da América, Coréia do Sul, Austrália e Hong Kong. Nota-se também a presença de um único pesquisador Brasileiro, o que pode demonstrar que tal ferramenta ainda se encontra pouco utilizada no país.

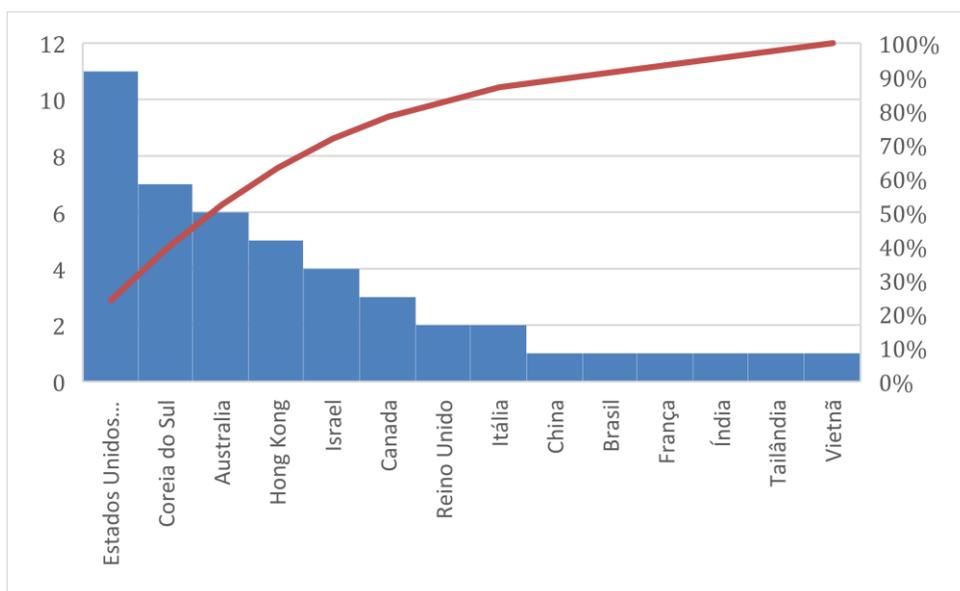
A figura 3 ilustra uma nuvem de palavras-chave obtidas através do agrupamento das mesmas palavras-chave dos artigos selecionados. As palavras como “Virtual reality”, “safety”, “Construction”, “training” e “hazard” aparecem em destaque uma vez que foram as que mais se repetiram. A nuvem de palavras-chave ainda pode auxiliar novos pesquisadores na busca por artigos científicos.

Figura 1 – Fluxograma para seleção dos artigos



Fonte: Neto, Manta, Cavalcanti, Santos, Neuwald e Lins (2022)

Figura 2 – Nacionalidade dos pesquisadores envolvidos nas pesquisas



Fonte: Neto, Manta, Cavalcanti, Santos, Neuwald e Lins (2022)

Figura 3 – Nuvem de palavra-chave



Fonte: Neto, Manta, Cavalcanti, Santos, Neuwald e Lins (2022)

A partir da análise dos artigos dispostos no Apêndice A, verifica-se que 54% dos artigos selecionados trataram da utilização da RV como forma de treinamento em Segurança do trabalho na Construção Civil. Entre os selecionados, 78% tratavam da identificação e avaliação de perigos. Vale ressaltar, que em alguns desses o foco da

pesquisa era o treinamento, mas também envolvia a identificação e avaliação de riscos no treinamento e por isso foi considerada. Isso explica o alto percentual de artigos que consideravam a RV como ferramenta para a identificação de perigos.

A realidade virtual é uma tecnologia que utiliza computadores, software e hardware periférico para gerar um ambiente simulado para seu usuário. O ambiente pode simular um ambiente real ou imaginário de total imersão (SACKS; PERLMAN; BARAK, 2013).

A indústria da construção civil é considerada complexa, dinâmica e perigosa. A aplicação de medidas preventivas e proativas, incluídas através da prevenção através do projeto, podem reduzir os acidentes e aumentar a produtividade (Getuli et al., 2021). Em Jeelani et al. (2020), o ambiente imersivo proporcionou uma melhoria de 39% no reconhecimento do perigo e de 44% no desempenho da gestão de riscos.

Mesmo profissionais da construção experientes e com treinamento prévio, nem sempre são proficientes em reconhecer e gerenciar os riscos à segurança (JEELANI; HAN, K.; ALBERT, 2020). O reconhecimento e o gerenciamento de perigos são habilidades cognitivas que dependem de atenção, exame visual e tomada de decisão.

Estudos anteriores demonstraram a eficácia da educação em segurança na construção aplicando realidade virtual (VR) e gamificação (AHN, Sungjin et al., 2020; PHAM et al., 2018). Trabalhadores treinados por meio de simulação ambiental virtual apresentaram um nível de compreensão mais alto do que o grupo de trabalhadores treinados por métodos convencional (AHN, Sungjin et al., 2020), uma vez que os tradicionais não abordam suficientemente a questão do reconhecimento e gerenciamento de riscos (JEELANI; HAN, K.; ALBERT, 2020).

As realidades virtuais imersivas apresentam simulação de baixo custo dos canteiros de obras, o que permite estratégias ativas de treinamento (EIRIS et al., 2020). Aplicada na indústria da construção, pode facilitar o trabalho para estimar o risco e potencialmente evitá-lo. Os cinco sentidos humanos - visão, audição, tato, propriocepção e olfato podem ser imitados pela RV por meio de interações homem-computador (KHAN et al., 2021). A RV fornece estímulos ao usuário, o que facilita a percepção intuitiva de situações de risco (LUCENA; SAFFARO, 2020).

Entre as ferramentas utilizadas nos artigos selecionados para proporcionar o ambiente 3-D imersivo, 36% deles utilizaram “game engines”, ou seja, aplicações destinadas a criação de jogos tridimensionais, enquanto cerca de 40% utilizaram

softwares relacionados a AEC – Arquitetura, engenharia e construção. Tecnologias de visualização avançadas, como modelagem de informações de construção (BIM) juntamente com a realidade virtual (VR), tem potencial para aprimorar vários processos (PEDRO et al., 2020), auxiliando no planejamento do espaço de trabalho, de forma a facilitar o compartilhamento de informações relacionadas à segurança entre os envolvidos (GETULI et al., 2020).

Com relação aos riscos avaliados, percebe-se a prevalência dos riscos físicos e ergonômicos, como queda em altura, que foi o risco específico estudado em 21% dos artigos selecionados, seguido de riscos ergonômicos como postura inadequada, colisão entre máquinas pesadas e trabalhadores circulando pelo canteiro, movimentação, operação com grua e riscos elétricos. Grande parte dos artigos não tratavam de um risco específico ou consideravam todos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realidade virtual pode ser uma importante ferramenta para melhorar o desempenho das construções em relação a segurança ocupacional, principalmente devido a sua capacidade de reproduzir um ambiente imersivo e próximo da realidade de um canteiro de obras. Diferentes aplicações da RV já são utilizadas a partir de diversas companhias e pesquisadores em todo o mundo.

Através da revisão, percebe-se que a utilização da RV na segurança do trabalho ainda encontra-se concentrada para treinamento de trabalhadores da indústria da construção e de estudantes, embora crescente sua utilização como ferramenta de avaliação e identificação de riscos ocupacionais. Em relação aos riscos identificados e avaliados nas aplicações de RV nos artigos, verificou-se a prevalência de riscos de queda em altura, seguido por riscos relacionados a movimentação de carga e guas, ergonômicos, como a colisão de máquinas e equipamentos com trabalhadores ao redor e choque elétrico.

Entre as ferramentas e softwares utilizados, percebe-se uma grande utilização de softwares para desenvolvimento de jogos. Com a implantação da tecnologia BIM cada vez mais difundida e sendo esta uma ferramenta que já inclui necessariamente a modelagem de edificações tridimensionais, espera-se uma maior utilização da RV juntamente com tecnologia BIM.

REFERÊNCIAS

AHN, S.; KIM, T.; PARK, Y.; KIM, J. Improving Effectiveness of Safety Training at Construction Worksite Using 3D BIM Simulation. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, 2020.

AKANMU, A.; OLAYIWOLA, J.; OGUNSEIJU, O.; MCFEETERS, D. Cyber-physical postural training system for construction workers. **Automation in Construction**, v. 117, n. November 2019, p. 103272, 2020.

BHAGWAT, K.; KUMAR, P.; DELHI, V. S. K. Usability of Visualization Platform–Based Safety Training and Assessment Modules for Engineering Students and Construction Professionals. **Journal of Civil Engineering Education**, v. 147, n. 2, p. 04020016, 2021.

CHAN, K.; LOUIS, J.; ALBERT, A. Incorporating worker awareness in the generation of hazard proximity warnings. **Sensors (Switzerland)**, v. 20, n. 3, 2020.

CHENG, T.; TEIZER, J. Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications. **Automation in Construction**, v. 34, p. 3–15, 2013.

CHOI, M.; AHN, S.; SEO, J. VR-Based investigation of forklift operator situation awareness for preventing collision accidents. **Accident Analysis and Prevention**, v. 136, n. November 2019, p. 105404, 2020.

DIAS BARKOKEBAS, R.; LI, X. Use of Virtual Reality to Assess the Ergonomic Risk of Industrialized Construction Tasks. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, n. 3, p. 04020183, 2021.

EIRIS, R.; JAIN, A.; GHEISARI, M.; WEHLE, A. Safety immersive storytelling using narrated 360-degree panoramas: A fall hazard training within the electrical trade context. **Safety Science**, v. 127, n. September 2019, p. 104703, 2020.

EIRIS, R.; GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Desktop-based safety training using 360-degree panorama and static virtual reality techniques: A comparative experimental study. **Automation in Construction**, v. 109, n. May 2019, p. 102969, 2020.

GETULI, V.; CAPONE, P.; BRUTTINI, A.; ISAAC, S. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, v. 114, n. November 2019, p. 103160, 2020.

GETULI, V.; CAPONE, P.; BRUTTINI, A. Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: an implementation protocol. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 28, n. 2, p. 603–623, 2021.

GUO, H.; LI, H.; CHAN, G.; SKITMORE, M. Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. **Accident Analysis and Prevention**, v. 48, p. 204–213, 2012.

- HABIBNEZHAD, M.; SHAYESTEH, S.; JEBELLI, H.; PUCKETT, J.; STENTZ, T. Comparison of ironworker's fall risk assessment systems using an immersive biofeedback simulator. **Automation in Construction**, v. 122, n. December 2020, p. 103471, 2021.
- HASANZADEH, S.; LA GARZA, J. M. DE; GELLER, E. S. Latent Effect of Safety Interventions. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 5, p. 04020033, 2020.
- JEELANI, I.; HAN, K.; ALBERT, A. Development of virtual reality and stereo-panoramic environments for construction safety training. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 8, p. 1853–1876, 2020.
- JOKKAW, N.; SUTEECHARUWAT, P.; WEERAWETWAT, P. Measurement of construction workers' feeling by virtual environment (VE) technology for guardrail design in high-rise building construction projects. **Engineering Journal**, v. 21, n. 5, p. 161–177, 2017.
- KHAN, A.; SEPASGOZAR, S.; LIU, T.; YU, R. Integration of bim and immersive technologies for aec: A scientometric-swot analysis and critical content review. **Buildings**, v. 11, n. 3, p. 1–34, 2021.
- KURIEN, M.; KIM, M.; KOPSIDA, M.; BRILAKIS, I. Real-time simulation of construction workers using combined human body and hand tracking for robotic construction worker system. **Automation in Construction**, v. 86, n. January 2017, p. 125–137, 2018.
- LE, Q. T.; PEDRO, A.; PARK, C. S. A Social Virtual Reality Based Construction Safety Education System for Experiential Learning. **Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications**, v. 79, n. 3–4, p. 487–506, 2015.
- LI, H.; CHAN, G.; SKITMORE, M. Multiuser Virtual Safety Training System for Tower Crane Dismantlement. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 26, n. 5, p. 638–647, 2012.
- LU, X.; DAVIS, S. How sounds influence user safety decisions in a virtual construction simulator. **Safety Science**, v. 86, p. 184–194, 2016.
- LU, X.; DAVIS, S. Priming effects on safety decisions in a virtual construction simulator. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 25, n. 2, p. 273–294, 2018.
- LUCENA, A. F. E.; SAFFARO, F. A. Guidelines for exploring construction sites in virtual reality environments for hazard identification. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 0, n. 0, p. 1–12, 2020.
- OH, K.; KIM, H.; SEO, J.; CHA, M.; LEE, G.; YI, K. Development and evaluation of advanced safety algorithms for excavators using virtual reality. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 33, n. 3, p. 1381–1390, 2019.
- PEDRO, A.; PHAM, H.; KIM, J.; PARK, C. Development and evaluation of context-based assessment system for visualization-enhanced construction safety education.

International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, v. 26, n. 4, p. 811–823, 2020.

PEDRO, A.; LE, Q. T.; PARK, C. S. Framework for Integrating Safety into Construction Methods Education through Interactive Virtual Reality. **Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice**, v. 142, n. 2, p. 1–10, 2016.

PERLMAN, A.; SACKS, R.; BARAK, R. Hazard recognition and risk perception in construction. **Safety Science**, v. 64, p. 13–21, 2014.

PHAM, H.; DAO, N.; PEDRO, A.; LE, Q.; HUSSAIN, R.; CHO, S.; PARK, C. Virtual field trip for mobile construction safety education using 360-degree panoramic virtual reality. **International Journal of Engineering Education**, v. 34, n. 4, p. 1174–1191, 2018.

SACKS, R.; WHYTE, J.; SWISSA, D.; RAVIV, G.; ZHOU, W.; SHAPIRA, A. Safety by design: dialogues between designers and builders using virtual reality. **Construction Management and Economics**, v. 33, n. 1, p. 55–72, 2015.

SACKS, R.; PERLMAN, A.; BARAK, R. Construction safety training using immersive virtual reality. **Construction Management and Economics**, v. 31, n. 9, p. 1005–1017, 2013.

SHI, Y.; DU, J.; AHN, C.; RAGAN, E. Impact assessment of reinforced learning methods on construction workers' fall risk behavior using virtual reality. **Automation in Construction**, v. 104, n. April, p. 197–214, 2019.

SYDORA, C.; LEI, Z.; SIU, M.; HAN, S.; HERMANN, U. Critical lifting simulation of heavy industrial construction in gaming environment. **Facilities**, v. 39, n. 1–2, p. 113–131, 2021.

YOU, S.; KIM, J.; LEE, S.; KAMAT, V.; ROBERT JR, L. Enhancing perceived safety in human–robot collaborative construction using immersive virtual environments. **Automation in Construction**, v. 96, n. September, p. 161–170, 2018.

ZHAO, D.; MCCOY, A.; KLEINER, B.; FENG, Y. Integrating safety culture into OSH risk mitigation: a pilot study on the electrical safety. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 22, n. 6, p. 800–807, 2016.

Recebido em: 06/07/2022

Aprovado em: 12/08/2022

Publicado em: 18/08/2022