



SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA TREINAMENTOS RELACIONADOS À ERGONOMIA DO TRABALHO

VIRTUAL REALITY SIMULATOR FOR WORK-RELATED ERGONOMICS TRAINING

Gabriel Hidalgo da Silva¹, Arthur Kennedy da Silva Guedes²,
Altibano Ortenzi³, Arthur Felipe Echs Lucena⁴

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v43p382-393.2024

RESUMO: A saúde e a segurança do trabalho são temas de grande relevância no debate científico. Mesmo com a existência de normas regulamentadoras sobre o assunto, como as NRs 09 e 17, a incidência de acidentes e doenças ocupacionais continua significativa, muitas vezes devido à falta de treinamentos adequados. Com o advento da Indústria 4.0, novas ferramentas foram desenvolvidas, como a Realidade Virtual (RV), as quais que podem representar inovadoras soluções para contribuir com esse contexto. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo desenvolver um simulador para treinamento de trabalhadores em relação à postura e práticas anti-ergonômicas em seu ambiente de trabalho. O trabalho foi realizado em três etapas principais: a seleção do contexto de aplicação e identificação de práticas anti-ergonômicas, o desenvolvimento do simulador de RV e a realização de testes e avaliação da ferramenta. O intuito do simulador é capacitar trabalhadores da construção civil a reconhecer e corrigir práticas anti-ergonômicas em suas atividades diárias. Os resultados indicaram que o simulador é uma ferramenta eficaz para complementar os treinamentos de ergonomia, focando na visualização de situações de risco e na correção de posturas inadequadas.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança do Trabalho; Indústria 4.0; visualização na Engenharia.

ABSTRACT: Occupational health and safety are highly relevant topics in scientific debate. Despite national regulatory standards on the subject, such as Brazilian NRs 09 and 17, the incidence of accidents and occupational diseases remains significant, often due to inadequate training. With the advent of Industry 4.0, new tools such as Virtual Reality (VR) have been developed, offering innovative solutions in this context. This study aimed to develop a simulator for training workers in posture and anti-ergonomic practices in their work environment. The work was carried out in three main stages: selecting the application context and identifying anti-ergonomic practices, developing the VR simulator, and testing and evaluating the tool. The purpose of the simulator is to enable construction workers to recognize and correct anti-ergonomic practices in their daily activities. The results indicated that the simulator is an effective tool for complementing ergonomic training, focusing on visualizing risk situations and correcting improper postures. This result, in addition to being a relevant technological innovation for the sector, contributes to the scientific debate on the subject as it presents evidence that this technology can contribute to practical and safe work ergonomics training.

KEYWORDS: Occupational safety; Industry 4.0; visualization in Engineering.

¹ Estudante de Engenharia Civil, Centro Universitário Ingá (UNINGÁ), hidalgog382@gmail.com

² Estudante de Engenharia da Computação, Centro Universitário Ingá (UNINGÁ), arthur.kennedy98@gmail.com

³ Professor Doutor, Universidade Estadual de Londrina (UEL), ortenzi@uel.br

⁴ Professor Doutor, Centro Universitário Ingá (UNINGÁ), prof.arthurlucena@uninga.edu.br



INTRODUÇÃO

Desde muito tempo, a saúde e segurança do trabalho é tema de diversas discussões e estudos. Apesar de todos os esforços do meio científico, a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais ainda é uma triste realidade da sociedade contemporânea, registrando-se altos índices de ocorrência desses eventos (MPT, 2019). Os acidentes, quase-acidentes e doenças ocupacionais são consequências da presença de trabalhadores em situações inseguras em seu ambiente de trabalho. Nessas situações, são identificáveis diversos agentes que, devido às suas naturezas, concentrações, intensidades ou tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde dos trabalhadores. Esses agentes são denominados perigos (BRASIL, 2021). A Norma Regulamentadora 9 (NR 09), instrumento legislativo brasileiro que aborda a temática de perigos e riscos ocupacionais, cita diversos exemplos de perigos ambientais aos quais os trabalhadores estão expostos. Existem perigos classificados como físicos, por exemplo ruídos, pressões anormais e temperaturas extremas. Além destes, também são recorrentes os perigos químicos, como poeira, gases ou outras substâncias que possam penetrar no organismo e prejudicá-lo. Por fim, a normativa cita também perigos de origem biológica, como bactérias, fungos e parasitas (BRASIL, 2021). A Norma Regulamentadora 17 (NR 17) também alerta para a existência de perigos de natureza ergonômica, como trabalhos repetitivos, posturas inadequadas por longa duração e esforços físicos intensos (BRASIL, 2022).

A identificação desses perigos no ambiente de trabalho encontra diversos desafios. Um desses desafios diz respeito à capacidade dos profissionais para identificar perigos e riscos. A habilidade de reconhecer perigos e riscos consiste em conhecimento tácito (ALBERT *et al.*, 2014), de modo que a destreza e a experiência de cada profissional nesse assunto são bastante variáveis (YANG *et al.*, 2017).

Nesse contexto, diversas tecnologias relacionadas ao enriquecimento da visão e outros sentidos ganharam destaque para contribuir com o treinamento dos trabalhadores, por exemplo a tecnologia de Realidade Virtual (RV). Definida como uma interface avançada de comunicação entre usuário e computador, por meio da qual o usuário pode navegar e interagir com cenários virtuais sintetizados em computador a partir de imaginação ou baseados em cenários reais (LUCENA, 2019), a tecnologia contribui para o aprendizado experiencial, em que os seus usuários podem vivenciar experiências de forma segura e engajadora.

Apesar da grande excitação gerada pelas profundas mudanças advindas da Indústria 4.0 e seus benefícios intrínsecos, ainda há uma carência de estudos



científicos que investiguem e discutam seus usos potenciais e implicações no setor produtivo (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). De acordo com Santos *et al.* (2018), muitas empresas ainda não têm uma compreensão clara sobre as contribuições e desafios esperados para o fenômeno de transformação digital no setor. Em especial, a interrelação entre as diferentes tecnologias, característica da quarta revolução industrial (SCHWAB, 2016), precisa ser devidamente investigada para garantir a interoperabilidade entre os sistemas e tecnologias já existentes (AIRES; KEMPNER-MOREIRA; FREIRE, 2017), criando um ecossistema que facilite a transição para esse novo ambiente (SANTOS *et al.*, 2018).

No que diz respeito à aplicação das tecnologias do espectro da Realidade Estendida para a Educação, ainda que estas se mostrem promissoras para realizar as capacitações e treinamentos diversos, a experiência de aplicação delas mostra que há muita divergência sobre seus reais benefícios ao processo de ensino-aprendizagem. Em uma revisão de literatura realizada sobre o uso de jogos sérios em realidade virtual, Makransky e Klingenberg (2022) relataram que apenas 30% dos estudos identificados concluíram que o uso da tecnologia aprimorava o aprendizado. Grassini, Laumann e Skogstad (2020) e Howard, Gutworth e Jacobs (2021), por sua vez, expõem que muitas experiências anteriores identificaram igual ou pior eficiência dos treinamentos em virtualidade, se comparados às metodologias clássicas. Em contrapartida, para diversos outros autores, existem evidências de que essas tecnologias são eficazes, fáceis de usar, seguras e contribuem para capacitações e treinamentos em diferentes campos, como saúde, segurança, educação e indústria (ALCAÑIZ; PARRA; GIGLIOLI, 2018).

Uma das razões para essa divergência entre estudos reside no fato de que existe uma quantidade limitada de estudos científicos, especialmente empíricos, que investigam os efeitos das tecnologias de Realidade Estendida para capacitações e treinamentos (ABICH *et al.*, 2021; GRASSINI; LAUMANN; SKOGSTAD, 2020). Outro fator importante é a forma com que essas aplicações foram desenvolvidas, visto que não existe um modelo ou forma que seja ideal para todas as situações em que é aplicado (HOWARD; GUTWORTH; JACOBS, 2021). A eficiência dessas simulações, portanto, depende de como elas foram desenvolvidas (MAKRANSKY; KLINGENBERG, 2022) e em que contexto elas são empregadas (GRASSINI; LAUMANN; SKOGSTAD, 2020; HOWARD; GUTWORTH; JACOBS, 2021; HUANG; ROSCOE, 2021).

Além disso, os resultados de estudos anteriores indicam que essas tecnologias podem ser mais benéficas a certos tipos de treinamentos (ABICH *et al.*, 2021). Muitos estudos já realizados abordaram treinamentos de habilidades psicomotoras, mas



pouco se sabe sobre os benefícios dessas tecnologias para capacitações relacionadas a habilidades conceituais (BACEVICIUTE *et al.*, 2022). Nesse sentido, também é necessário investigar a melhor abordagem pedagógica a ser utilizada, visto que abordagens bem-sucedidas em modalidades de treinamento anteriores podem não ser igualmente eficazes em treinamentos nessa modalidade (ABICH *et al.*, 2021; BAXTER; HAINEY, 2019; HOWARD; GUTWORTH; JACOBS, 2021).

Assim, ainda que capacitações em Realidade Estendida se mostrem uma alternativa promissora para o contexto de capacitações e treinamentos, especialmente na temática de Ergonomia do Trabalho, é eminente a necessidade de se desenvolver estudos científicos empíricos que testem e avaliem sua eficiência frente a esse contexto e tipo de treinamento, discutindo abordagens e tecnologias passíveis de serem utilizadas. De forma a contribuir com esse debate, o presente artigo tem por objetivo desenvolver um simulador para treinamento de trabalhadores em relação à postura e práticas anti-ergonômicas em seu ambiente de trabalho.

MÉTODO DE PESQUISA

O presente trabalho tem caráter prescritivo e exploratório e foi realizado em três etapas, a saber:

- a) Etapa 1: seleção do contexto de aplicação do simulador e identificação das práticas anti-ergonômicas;
- b) Etapa 2: desenvolvimento do simulador de realidade virtual;
- c) Etapa 3: teste e avaliação do simulador.

Na Etapa 1, foi realizada a seleção do contexto de aplicação do simulador e a identificação das práticas anti-ergonômicas presentes nesse contexto. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura, por meio de consulta a artigos científicos publicados em revistas científicas, trabalhos completos publicados em eventos nacionais e internacionais, livros, teses, dissertações e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC), disponibilizados nas bases indexadoras *Scielo*, *ScienceDirect* e *Google Scholar*. A seleção dos estudos adotou critérios relacionados à semelhança com o foco e escopo deste trabalho, qualidade metodológica e relevância dos resultados. Também foi utilizada a Norma Regulamentadora 17 (BRASIL, 2022), principal instrumento normativo relacionado ao tema no Brasil.

A partir das reflexões da etapa anterior, na Etapa 2, o simulador foi desenvolvido, aplicado ao contexto de ergonomia do trabalho em um escritório

de engenharia locado em um canteiro de obra da construção civil. Para sua criação, foi utilizada a plataforma de desenvolvimento de jogos *Unreal Engine*, versão 5.1.1. Para visualização e interação com a simulação, foram utilizados os óculos de realidade virtual *Meta Quest 2*, com seus respectivos controles de movimento (Figura 1).

Figura 1 – Meta Quest 2



Fonte: Qualcomm (2024).

Na Etapa 3, o simulador desenvolvido foi testado com voluntários do público-alvo. Foram convidados a participar dessa etapa do estudo três estudantes, graduandos de Engenharia Civil. A escolha desses participantes levou em consideração o fato de que é especificamente no momento da sua formação em Engenharia que tais profissionais são treinados em aspectos relacionados à Ergonomia do Trabalho. Além disso, ressalta-se o caráter exploratório da presente pesquisa, que não tinha a intenção de realizar análises de estatística inferencial ou validação da eficiência do simulador. Por essa razão, considerou-se a amostra ($n = 3$) suficiente.

Os participantes foram comunicados sobre a sua participação no estudo ser anônima e voluntária; também foi dito que eles poderiam interrompê-la a qualquer momento, se assim desejassem. O uso do simulador foi feito individualmente com cada participante, em um ambiente reservado e silencioso, orientado por um dos pesquisadores autores deste trabalho, que atuou como instrutor. Após o uso do simulador, os participantes responderam a um questionário, elaborado com o intuito de coletar informações sobre a percepção dos participantes quanto a sua



aceitação para o processo de treinamento, eficiência e usabilidade da ferramenta.

O questionário, que será devidamente apresentado preenchido na seção de Resultados deste artigo, era composto por doze sentenças. Cada participante deveria atribuir, a cada sentença, uma nota que indicasse sua percepção quanto a sua satisfação em relação ao que era abordado na sentença. A nota variava em uma escala de 1 a 5, sendo: a) nota 1: muito insatisfatório; b) nota 2: insatisfatório; c) nota 3: neutro; d) nota 4: satisfatório; e e) nota 5: muito satisfatório.

No caso da média das notas dadas pelos participantes, considerou-se que, para atingir quaisquer das classificações apresentadas nas alíneas “a” a “e”, era necessário que a média atingisse ou ultrapassasse seu valor numérico. Por exemplo, a nota média 4,67 é considerada “satisfatória” na escala anterior, pois não atingiu (ou ultrapassou) o próximo nível da escala (5).

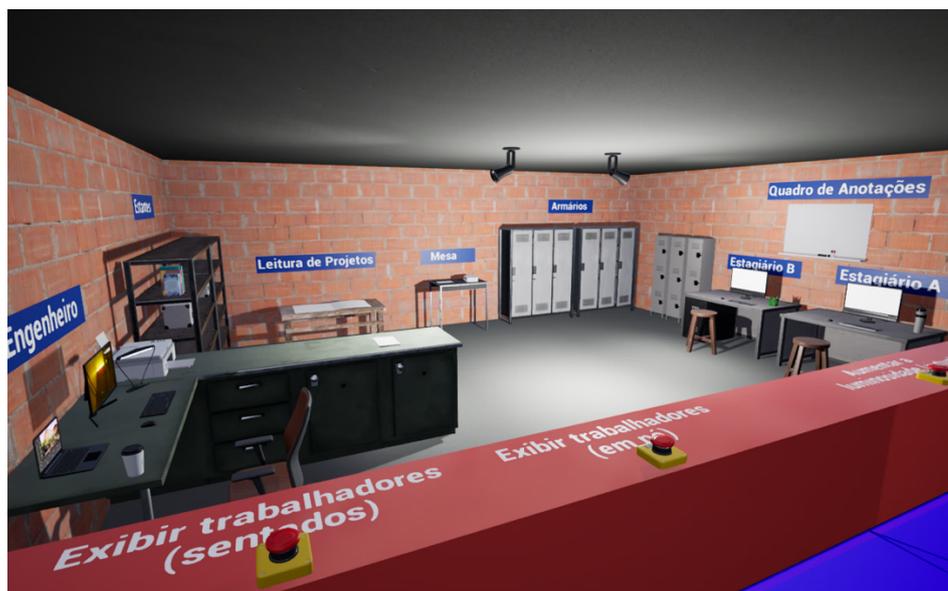
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desenvolvimento do simulador (Etapa 2)

A ferramenta desenvolvida tem o objetivo de treinar os trabalhadores que exercem suas funções nesse ambiente de trabalho, de modo que eles possam investigar sua rotina laboral (simulada na ferramenta), com vistas a perceber práticas anti-ergonômicas.

Ao iniciar a simulação, o usuário se percebe inserido em um cenário similar ao escritório de engenharia em um canteiro de obras. Cada setor da cena (Figura 2) é rotulado com um texto que identifica quem trabalha naquele setor ou qual a sua função (por exemplo, “Estagiário A”, “Engenheiro”, “Leitura de Projetos”, entre outros). Uma instrução textual exibida em uma das paredes do cenário explica que o usuário deve investigar a cena, analisando aspectos relacionados à ergonomia do trabalho. Para isso, ele pode caminhar na cena e visualizá-la sob qualquer perspectiva visual.

Figura 2 – Cenário do simulador



Fonte: acervo dos autores.

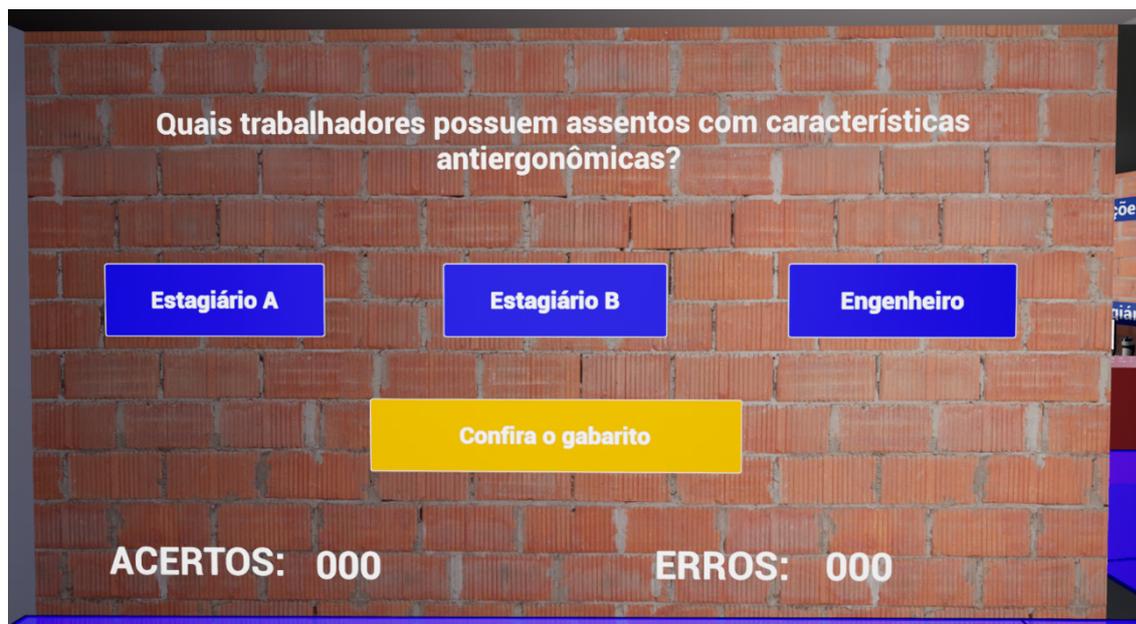
Além disso, quatro botões presentes no cenário permitem que o usuário:

- posicione silhuetas de trabalhos sentados no cenário, para que seja avaliada a sua postura e posição nas operações de trabalho executadas sentado (como realizar tarefas em um computador, por exemplo);
- posicione silhuetas de trabalhos em pé no cenário, para que seja avaliada sua postura e posição nas operações de trabalho executadas em pé (como alcançar itens em um armário, por exemplo);
- alterar o esquema de iluminação da cena para uma situação que ilustre de forma mais realista as fontes de iluminação do ambiente;
- alterar o esquema de iluminação da cena para aumentar a luminosidade do ambiente de forma virtual (não realista), para facilitar sua visualização do ambiente virtual.

Após concluir sua investigação, o usuário deve clicar em um botão presente no cenário para iniciar uma dinâmica que busca fazê-lo refletir sobre a assertividade da sua avaliação da cena em relação à ergonomia do trabalho. Nessa dinâmica, são exibidas perguntas de múltipla escolha ao usuário sobre situações anti-ergonômicas presentes na cena. O usuário deve se lembrar de sua análise, ou revisitar a cena, e eleger as alternativas corretas para aquela questão (Figura 3).



Figura 3 – Quizz do simulador



Fonte: acervo dos autores.

Por exemplo, a primeira pergunta questiona o usuário: “Quais trabalhadores possuem assentos com características anti-ergonômicas?”. Para essa questão, são fornecidas três opções: “Estagiário A”, “Estagiário B” e “Engenheiro”. Após selecionar as alternativas que acredita estarem corretas nessa pergunta, o usuário deve clicar no botão “confira o gabarito”, que informa a seguinte explicação: “Estagiários A e B. Diferentemente do assento do Engenheiro, os assentos dos estagiários não possuem apoio para a lombar, não permitem se aproximar o suficiente da estação de trabalho e não permitem apoiar os pés na posição planar. Também não são reguláveis”.

Conforme avança na resolução das questões, o usuário pode observar seu desempenho em um placar exibido no canteiro inferior da sua visão, que registra a quantidade de respostas corretas e erradas que foram assinaladas por ele no decorrer da dinâmica. Ao final da dinâmica, encerrando também a experiência do usuário na simulação, é exibida uma mensagem que retoma esse mesmo placar de acertos e erros do usuário, informando ainda a quantidade máxima de acertos que ele poderia registrar (nove), para que ele possa refletir sobre seu desempenho na experiência.



Teste e avaliação do Simulador (Etapa 3)

A Tabela 1 apresenta o questionário utilizado para avaliação do simulador na Etapa 3 deste estudo, associado às médias das notas atribuídas pelos participantes e seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 1 – Questionário de avaliação

Descrição	Média	Desvio-Padrão	Significado (escala)
O tempo gasto no Simulador foi bem investido em termos de aprendizado sobre ergonomia.	5,00	0,00	Muito satisfatório
Eu me senti engajado e imerso durante a experiência no Simulador.	5,00	0,00	Muito satisfatório
O Simulador me proporcionou insights úteis sobre como melhorar a ergonomia em um canteiro de obras.	5,00	0,00	Muito satisfatório
As perguntas e desafios propostos no Simulador estimularam o pensamento crítico e a resolução de problemas relacionados à ergonomia.	5,00	0,00	Muito satisfatório
Eu recomendaria o uso do Simulador a outros interessados em boas práticas de ergonomia na construção civil.	5,00	0,00	Muito satisfatório
A interface virtual do Simulador era intuitiva e fácil de usar.	4,67	0,58	Satisfatório
O Simulador ajudou a melhorar minha compreensão das boas práticas de ergonomia na construção civil.	4,67	0,58	Satisfatório
O Simulador promoveu a conscientização sobre os riscos ergonômicos e a importância de prevenção de lesões no ambiente de trabalho.	4,67	0,58	Satisfatório
O Simulador proporcionou uma experiência realista de uma sala de engenharia em um canteiro de obras.	4,33	1,15	Satisfatório
O Simulador estimulou meu interesse em aprender mais sobre ergonomia na construção civil.	4,33	1,15	Satisfatório
A duração da experiência no Simulador foi adequada.	4,33	0,58	Satisfatório
O Simulador forneceu feedback claro e útil sobre as práticas corretas de ergonomia durante a experiência.	4,33	1,15	Satisfatório

Fonte: elaborada pelos autores.

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, nota-se que, de modo geral, a experiência no simulador foi bem avaliada pelos voluntários, de modo que todos os quesitos foram considerados “satisfatórios” ou “muito satisfatórios”. Além disso,



os baixos valores de desvio-padrão apresentados na tabela indicam que não houve muita divergência de opinião entre os participantes consultados.

Em particular, os voluntários destacaram a capacidade do simulador em engajar e envolver seus usuários no decorrer da experiência, além de sua utilidade em proporcionar *insights* úteis sobre o tema, avaliando tais quesitos com a nota máxima (5). Consideraram o *quizz* presente no simulador adequado para estimular o pensamento crítico sobre a temática de ergonomia, foram unânimes em considerar o uso da ferramenta como um tempo bem investido e a recomendaram para usos futuros, também avaliando tais quesitos com a nota máxima na escala.

Em contrapartida, as notas mais baixas (4,33) foram atribuídas ao realismo da cena, estímulo de interesse sobre o tema, duração da experiência e utilidade do *feedback* fornecido. De fato, tratando-se de um protótipo experimental para um estudo de caráter exploratório, o simulador desenvolvido tem limitações em relação ao realismo do ambiente virtual desenvolvido e também apresenta duração bastante curta, o que pode interferir em sua capacidade de despertar o interesse dos usuários sobre o tema e de fornecer um *feedback* mais claro e útil sobre o assunto. Destaca-se, ainda, que essa dificuldade em representar, de forma realista, o cenário virtual é consonante com outros estudos similares, conforme destacado por Lucena (2019).

CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver um simulador para treinamento de trabalhadores em relação à postura e práticas anti-ergonômicas em seu ambiente de trabalho. Após a coleta de informações sobre o tema presentes na literatura, foi possível realizar o desenvolvimento do simulador pretendido, testando-o com voluntários do público-alvo. Conclui-se, portanto, que o objetivo do estudo foi atingido.

O simulador desenvolvido se mostrou adequado para uso como ferramenta complementar de treinamentos relacionados à ergonomia do trabalho na construção civil, sendo bem avaliado pelos voluntários consultados em todos os quesitos consultados. Em particular, o simulador se destacou por fornecer *insights* úteis sobre o tema aos seus usuários, engajando-os na experiência de aprendizado. Contudo, a ferramenta enfrentou limitações em relação ao realismo da cena representada, duração e clareza do *feedback* fornecido aos participantes.



Os achados deste trabalho contribuem com o debate científico à medida que apresentam reflexões úteis para o aprimoramento e desenvolvimento de novas simulações voltadas ao ensino de segurança e ergonomia do trabalho. Em vista das limitações apresentadas pelo simulador desenvolvido e pelos procedimentos metodológicos seguidos no decorrer deste estudo, recomenda-se que futuros estudos busquem desenvolver novas simulações com maior foco no realismo da cena ilustrada, além de testagem do seu uso com uma quantidade maior de participantes e em outros contextos do processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS

- ABICH, J. *et al.* A review of the evidence for training effectiveness with virtual reality technology. **Virtual Reality**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 919–933, 2021.
- AIRES, R. W. A.; KEMPNER-MOREIRA, F.; FREIRE, P. S. Indústria 4.0: desafios e tendências para a Gestão do Conhecimento. **Seminário Universidades Corporativas e Escolas de Governo**, [s. l.], p. 24, 2017.
- ALBERT, A. *et al.* Enhancing Construction Hazard Recognition with High-Fidelity Augmented Virtuality. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 140, n. 7, p. 04014024, 2014.
- ALCAÑIZ, M.; PARRA, E.; GIGLIOLI, I. A. C. Virtual Reality as an Emerging Methodology for Leadership Assessment and Training. **Frontiers in Psychology**, Switzerland, v. 9, p. 1658, 2018.
- BACEVICIUTE, S. *et al.* Investigating the value of immersive virtual reality tools for organizational training: An applied international study in the biotech industry. **Journal of Computer Assisted Learning**, Chichester, UK, v. 38, n. 2, p. 470–487, 2022.
- BAXTER, G.; HAINEY, T. Student perceptions of virtual reality use in higher education. **Journal of Applied Research in Higher Education**, Bingley, v. 12, n. 3, p. 413–424, 2019.
- BRASIL. **NR 09: avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-9-nr-9>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- BRASIL. **NR 17: ergonomia**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-17-nr-17>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- GRASSINI, S.; LAUMANN, K.; SKOGSTAD, M. R. The Use of Virtual Reality Alone Does Not Promote Training Performance (but Sense of Presence Does). **Frontiers in Psychology**, [s. l.], v. 11, p. 1743, 2020.
- HOWARD, M.C.; GUTWORTH, M. B.; JACOBS, R. R. A meta-analysis of virtual reality training programs. **Computers in Human Behavior**, [s. l.], v. 121, p. 106808, 2021.



- HUANG, W.; ROSCOE, R. D. Head-mounted display-based virtual reality systems in engineering education: A review of recent research. **Computer Applications in Engineering Education**, Hoboken, v. 29, n. 5, p. 1420–1435, 2021.
- LUCENA, A. F. E. **Desenvolvimento de recursos baseados em jogos e realidade virtual para capacitação em segurança do trabalho de gestores da construção civil**. 2019. Mestrado – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.
- MAKRANSKY, G.; KLINGENBERG, S. Virtual reality enhances safety training in the maritime industry: An organizational training experiment with a non-WEIRD sample. **Journal of Computer Assisted Learning**, Chichester, UK, v. 38, n. 4, p. 1127–1140, 2022.
- MPT. **Observatório de Saúde e Segurança do Trabalho**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://observatoriosst.mpt.mp.br/>. Acesso em: 21 nov. 2019.
- OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 83, p. 121–139, 2016.
- QUALCOMM. **Meta Quest 2**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://www.qualcomm.com/products/mobile/snapdragon/xr-vr-ar/xr-vr-ar-device-finder/meta-quest-2>. Acesso em: 4 ago. 2024.
- SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.
- SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.
- YANG, K. *et al.* Collective sensing of workers' gait patterns to identify fall hazards in construction. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 82, n. April, p. 166–178, 2017.