ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

BIM e Realidade Aumentada: Inovações Tecnológicas para um Ambiente de Trabalho Seguro

BIM and Augmented Reality: Technological Innovations for a Safe Work Environment

João Pedro Rodrigues Soares
UnB | Brasília | Brasil | jprsoares96@gmail.com
José Ricardo Guimarães Corrêa Junior
UnB | Brasília | Brasil | josericardoguimcorrea@gmail.com
Pedro Henrique Pinheiro de Sousa
UnB | Brasília | Brasil | eng.pedro21@gmail.com
Michele Tereza Marques Carvalho
UnB | Brasília | Brasil | micheletereza@unb.br

Resumo

Desde os primórdios, o ambiente de trabalho na indústria da construção civil é percebido como perigoso devido às operações em alturas, manuseio de máquinas pesadas e ambientes insalubres. Apesar disso, o avanço tecnológico traz benefícios para o setor, incluindo melhorias na segurança dos trabalhadores. O presente artigo visa elaborar uma análise da literatura que contribua para compreensão da integração de ferramentas BIM (Building Information Modeling) e AR (Augmented Reality) no avanço da segurança do trabalho. Com o uso da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), a partir do recorte temporal, delimitação de temas, análise de títulos e leitura de resumos, foram filtrados 16 artigos. Um mapeamento sistemático da literatura revela o potencial do BIM e da AR para melhoria da segurança. A partir de então, foi observado que pesquisas recentes destacam a busca por novas tecnologias para aprimorar a saúde e a segurança, como o BIM e a AR. O ambiente da AR busca integrar ferramentas BIM e priorizar a segurança. Essas ferramentas proporcionam treinamento interativo e contribuem para a redução de acidentes de trabalho. Esse estudo contribui para uma gestão eficaz da segurança na construção civil, permitindo aos profissionais do setor melhorarem o desempenho da segurança. O estudo ainda destaca as lacunas de pesquisa na integração de tecnologias BIM e AR para melhorar a saúde e segurança no trabalho, ressaltando desafios como custo, complexidade técnica e falta de estudos sobre fatores internos e externos. Apesar dos desafios, a integração dessas tecnologias pode melhorar substancialmente a saúde e segurança no ambiente de trabalho.

Palavras-chave: BIM. Realidade aumentada. Segurança do trabalho. Tecnologia. Inovação.

Como citar:
SOARES, J.P.R. et al. BIM e Realidade Aumentada: Inovações Tecnológicas para um Ambiente de Trabalho Seguro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Since its inception, the work environment in the construction industry has been perceived as hazardous due to operations at heights, handling of heavy machinery, and unhealthy environments. Nevertheless, technological advancements bring benefits to the sector, including improvements in worker safety. This article aims to conduct a literature analysis that contributes to the understanding of the integration of Building Information Modeling (BIM) and Augmented Reality (AR) tools in advancing occupational safety. Using the Consolidated Meta-Analytic Focus Theory (TEMAC), 16 articles were filtered based on temporal scope, thematic delineation, title analysis, and abstract reading. A systematic literature mapping reveals the potential of BIM and AR for safety enhancement. Subsequently, recent research emphasizes the pursuit of new technologies to enhance health and safety, such as BIM and AR. The AR environment seeks to integrate BIM tools and prioritize safety. These tools provide interactive training and contribute to the reduction of workplace accidents. This study contributes to effective safety management in construction, enabling professionals in the sector to improve safety performance. The study also highlights research gaps in integrating BIM and AR technologies to improve health and safety at work, emphasizing challenges such as cost, technical complexity, and lack of studies on internal and external factors. Despite the challenges, the integration of these technologies can significantly enhance health and safety in the workplace.

Keywords: BIM, Augmented Reality, Work Safety, Technology, Innovation.

INTRODUÇÃO

O Brasil enfrenta desafios significativos em relação à segurança no trabalho [1], onde figura em posição preocupante no grupo G20 em termos de segurança laboral. Especificamente, a taxa de mortalidade no ambiente de trabalho é alarmante, atingindo 5,21 mortes para cada 100 mil vínculos. Na indústria da construção civil, essa taxa aumenta para 11,76 por 100 mil [2], destacando a urgência de medidas para enfrentar esse cenário.

Pesquisas anteriores [3], revelaram que cerca de 75% dos colaboradores de empresas de construção civil acreditam que os acidentes e riscos na construção podem ser antecipados e prevenidos durante a fase de projeto, com o uso de ferramentas e tecnologias apropriadas.

Nesse contexto, a implementação crescente de ferramentas tecnológicas, como Building Information Modeling (BIM) e Realidade Aumentada, tem suscitado interesse de pesquisadores e instituições para explorar métodos de projeto que priorizem a segurança no local de trabalho, antecipando riscos desde a concepção do projeto e desenvolvendo soluções tangíveis para mitigar riscos no canteiro de obras.

O BIM é uma metodologia que envolve a criação e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de uma construção. Utilizando modelos 3D ricos em informações, o BIM permite que profissionais da construção civil colaborem mais eficientemente, desde a fase de concepção até a operação e manutenção do edifício [3]. A Realidade Aumentada (AR), por outro lado, sobrepõe informações digitais ao mundo real, permitindo que os usuários vejam dados e gráficos adicionais através de dispositivos como smartphones, tablets ou óculos especiais. A combinação dessas tecnologias oferece uma visão imersiva e detalhada dos projetos, facilitando a visualização e compreensão de cada etapa da construção [1] e [4].

Na construção civil, a integração do BIM com a Realidade Aumentada pode ter um impacto significativo na saúde e segurança do trabalho. Com o BIM, os modelos detalhados podem identificar e mitigar riscos antes que a construção comece, enquanto a AR pode proporcionar treinamento mais eficaz para os trabalhadores ao simular cenários de perigo e procedimentos de segurança em um ambiente controlado. Além disso, durante a construção, a AR pode ajudar a identificar riscos em tempo real, como áreas perigosas ou equipamentos defeituosos, alertando os trabalhadores imediatamente. Essa combinação não só melhora a comunicação e a colaboração entre as equipes, mas também promove um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente, reduzindo a probabilidade de acidentes e aumentando a consciência situacional dos trabalhadores [4], [5] e [6].

Este estudo, conduzido por meio de uma revisão sistemática da literatura, tem como objetivo realizar uma análise paramétrica do cenário das tecnologias BIM e AR, com foco na segurança do trabalho. A análise abrange um panorama global, sendo embasada em uma seleção criteriosa de 16 artigos a partir do recorte temporal, delimitação de temas, análise de títulos e leitura de resumos provenientes de plataformas científicas consolidadas, como Scopus® e Web of Science®, os quais serão minuciosamente examinados para identificar tendências, desafios e oportunidades. Além de fornecer uma compreensão científica das tecnologias mais avançadas, busca-se também disseminar ferramentas práticas que possam ser aplicadas para salvar vidas e prevenir acidentes em ambientes de trabalho desafiadores, especialmente na indústria da construção civil.

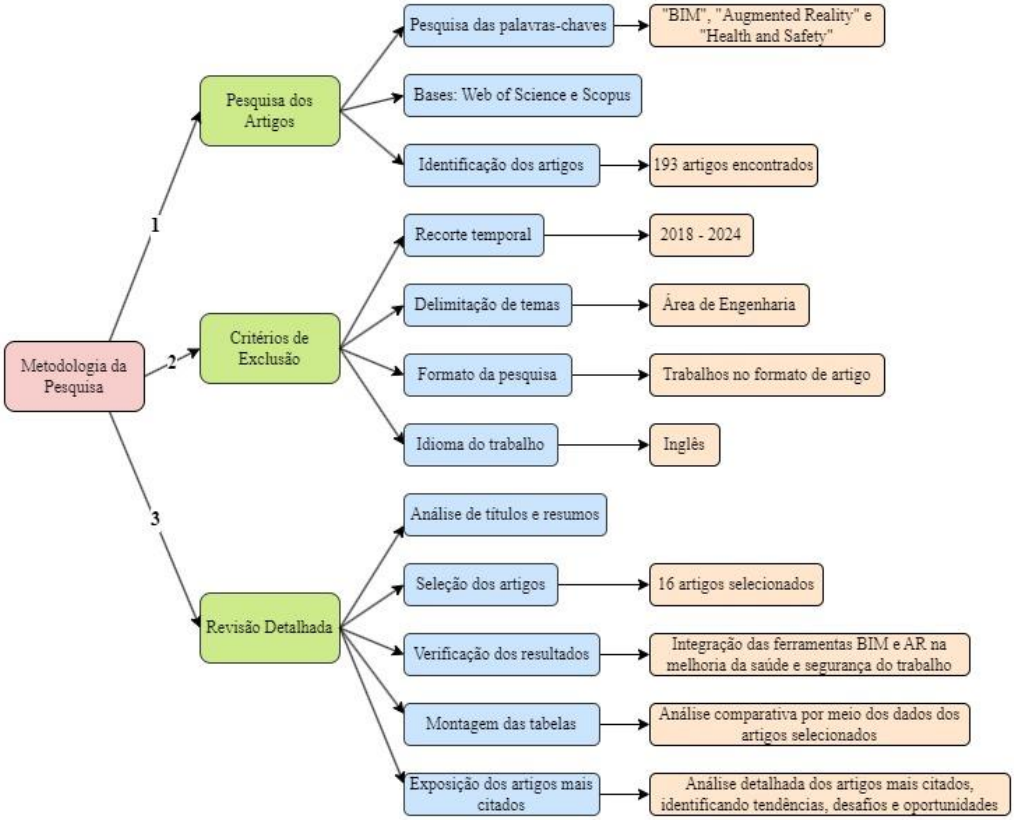
METODOLOGIA

Para efetuar este estudo, foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura, o qual, conforme descrito em estudos [4], constitui-se como um método de pesquisa que emprega uma metodologia claramente estabelecida para detectar, examinar e compreender todas as evidências acessíveis sobre um tema de pesquisa específico de forma imparcial e reprodutível.

COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi dividida em três etapas: pesquisa dos artigos, definição de critérios de exclusão e revisão detalhada da literatura, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 1: Fluxograma da metodologia utilizada nesta pesquisa.



Fonte: o autor.

PESQUISA DOS ARTIGOS

Por meio do acesso ao Portal Periódicos CAPES/MEC, foram consultadas referências em bases de dados científicas. As plataformas de banco de dados empregadas foram a "Web of Science" e "Scopus". As palavras-chave utilizadas em ambas as plataformas foram: “BIM”, “Building Information Modeling”, “Augmented Reality”, “AR”, “Health and Safety”, “Health” e “Safety”. Estas palavras-chave foram combinadas utilizando os operadores booleanos AND e OR, resultando na seguinte sequência de busca: “BIM OR Building Information Modeling” AND “Augmented Reality OR AR” AND “Health and Safety OR Health OR Safety”, gerando 193 artigos.

CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Na pesquisa realizada nas plataformas Web of Science (WoS) e Scopus, aplicou-se o filtro de recorte temporal de cinco anos completos e o ano atual (2018-2024), com o intuito de englobar as mais recentes pesquisas e tecnologias dessa temática, tornando o presente artigo bastante atual, juntamente com o filtro de delimitação de assuntos restrito à área de engenharia. Ademais, optou-se por restringir os trabalhos apenas aos formatos de artigos e ao idioma inglês.

REVISÃO DETALHADA

Após a realização dos procedimentos anteriormente mencionados, os títulos e resumos dos artigos foram submetidos a uma avaliação para determinar sua relevância ao tema e otimizar os resultados. A partir dessa análise, constatou-se que,

do total inicial de 193 artigos, 16 deles estavam diretamente relacionados ao tema da pesquisa e atenderam aos critérios de exclusão estabelecidos para contribuir com o estudo em questão.

Concluída essa etapa de seleção, os textos foram examinados minuciosamente, com o objetivo de compreender como as ferramentas BIM e AR foram incorporadas para melhorar a segurança no trabalho. Durante esse processo, foram identificados os resultados de cada artigo e organizados em um formato tabular, destacando as informações mais relevantes de cada estudo e seu impacto no avanço da saúde e segurança no ambiente de trabalho por meio da integração do BIM e da AR. Além disso, os resultados das buscas nas plataformas Scopus e WoS foram ordenados por número de citações, e os artigos mais citados foram analisados com mais detalhes, destacando, dessa forma, as tendências, desafios e oportunidades dessa integração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A exposição dos resultados ocorre na Quadro 1, onde são apresentados os dados oriundos da revisão dos artigos selecionados. O Quadro fornece uma visão detalhada dos autores, anos de publicação, metodologias utilizadas e breves citações dos resultados encontrados em cada estudo.

Quadro 1: Resultados encontrados (Continua)

Autor	Ano	Ferramenta	Resultado
Shalaka Hire, Sayali Sandbhor, Kirti Ruikar	2024	Revisão da Literatura	Criação de uma estrutura de verificação automática de segurança (ASC) baseado em BIM para identificação precoce de perigos na etapa de projeto em um ambiente de realidade aumentada.
Hazwani Shafei, Rahimi A. Rahman, Yong Siang Lee	2024	Técnica Fuzzy TOPSIS	Utilização do BIM e AR para detecção de riscos através de plug-ins e realização de treinamentos virtuais.
Felipe Muñoz-La Rivera, Javier Mora-Serrano, Eugenio Oñate	2023	Metodologia de Pesquisa em Design Science (DSRM)	Diretrizes para criar experiências de aprendizado em realidade aumentada e BIM visando treinar trabalhadores de forma eficiente para melhorar a segurança na construção.
Vito Getuli, Pietro Capone, Alessandro Bruttini,Tommaso Sorbi	2022	Pesquisa exploratória	Criação de uma biblioteca de objetos inteligentes com o BIM e AR para gestão do canteiro de obras, visando a melhoria da saúde e segurança do trabalho.

Autor	Ano	Ferramenta	Resultado
Esra Dobrucali, Sevilay Demirkesen, Emel Sadikoglu, Chengyi Zhang, Atilla Damci	2022	Método Delphi utilizando o software de análise SPSS AMOS	A análise mostra que tecnologias como BIM, AR, robótica, IA e dispositivos vestíveis têm impacto positivo na segurança na construção.
Jorge Ramos-Hurtado, Felipe Muñoz-La Rivera, Javier Mora-Serrano, Arnaud Deraemaeker, Ignacio Valero	2022	Metodologia de Pesquisa em Design Science (DSRM)	Identificação de problemas na inspeção de segurança e criação de um aplicativo por meio do BIM e AR para inspetores garantirem a presença de EPCs e relatarem incidentes.
Muneeb Afzal, Mahammad Tariq Shafiq	2021	Estudo de caso	Concluiu que o 4D-BIM e a AR podem ajudar a reduzir as ameaças de segurança no ambiente de trabalho.
Muneeb Afzal, Mahammad Tariq Shafiq, Hamad Al Jassmi	2021	Revisão sistemática da literatura	A revisão da literatura mostrou que as tecnologias VDC podem melhorar substancialmente a segurança na construção.
Barbara Schiavi, Vincent Havard, Karim Beddiar, David Baudry	2021	Revisão sistemática da literatura	Criação de sistema AR para alertar operadores sobre perigos iminentes e utilização de BIM e VR para treinamentos virtuais.
Vito Getuli, Pietro Caponi	2021	Pesquisa exploratória	Desenvolvimento de biblioteca dedicada para a produção de cenários em AR para treinamento de segurança.
Javier ,ora Serramno, Felipe Muñoz-La Rivera, Ignacio Valero	2021	Pesquisa exploratória	A realidade aumentada e BIM são viáveis para a formação em segurança na construção, porém requer desenvolvimento de métodos mais automatizados.
Bilal Manzoor, Idris Othman, Juan Carlos Pomares, Heap-Yih Chong	2021	Teoria fundamentada	O framework amplia o papel do BIM e tecnologias emergentes na segurança da construção em prédios altos.
Karim Farghaly	2021	Revisão sistemática da literatura	Destacou a limitação de conhecimento por parte dos projetistas no âmbito da segurança do trabalho, e propôs o uso de jogos, inteligência artificial e BIM para o aprimoramento.

Autor	Ano	Ferramenta	Resultado
Vito Getuli, Pietro Capone, Alessandro Bruttini, Shabtai Isaac	2020	Pesquisa de campo	Utilização de tecnologias VDC como ferramenta para o aprimoramento da gestão da segurança em projetos de construção.
Sungjin Ahn, Taehui Kim, Young-Jun Park, Ji-Myong Kim	2020	Estudo de Caso	Simulação BIM melhor que treinamento convencional. Realidade aumentada mais eficaz que palestras.
Vito Getuli	2020	Estudo de caso	Protocolo de treinamento de segurança usando BIM e AR em espécie de jogos contribui para a segurança em ambientes de trabalho.
Shuang Dong, Heng Li, Qin Yin	2018	Pesquisa exploratória	Criação de ambiente de treinamento com realidade aumentada e BIM simulando situações de perigo do canteiro de obras.

Fonte: Autores, 2024

A partir da análise dos dados obtidos do Quadro 01, convém apresentar algumas pesquisas que oferecem percepções valiosas para a compreensão de como a integração do BIM e da AR podem auxiliar no avanço da saúde e segurança do trabalho.

Os resultados obtidos no Quadro 01 fornecem uma visão detalhada sobre a integração de tecnologias BIM e AR para aprimorar o planejamento do espaço de trabalho e a gestão da segurança em projetos de construção. A metodologia empregada para atingir esse objetivo engloba a modelagem do espaço de trabalho das atividades de construção em um ambiente BIM, seguida por simulações de atividades de construção em um ambiente de AR para obter e integrar o conhecimento dos trabalhadores com o dos gestores de construção [5].

Os resultados desta pesquisa indicam que a metodologia proposta pode melhorar significativamente o planejamento e a gestão da segurança em projetos de construção. 9A simulação imersiva em AR, combinada com o BIM, permitiu a integração eficaz do conhecimento dos trabalhadores no planejamento do espaço de trabalho, resultando em um processo mais realista e informado. Os trabalhadores envolvidos nas simulações de AR puderam fornecer feedbacks valiosos sobre a posição, dimensões e configuração dos espaços de trabalho, os quais foram então ajustados para melhor refletir as necessidades reais e melhorar as condições de segurança no ambiente de trabalho [5].

Além desse, outra pesquisa [6] destacou o uso indevido de equipamentos de proteção individual (EPI) e a importância da utilização destes equipamentos para prevenção de acidentes graves trazendo ênfase no controle de utilização dos equipamentos de segurança pelos trabalhadores. O estudo traz uma nova abordagem para o monitoramento e controle remoto automatizado da utilização dos EPIs. Para realizar esse controle automatizado, as tecnologias são analisadas e uma arquitetura de rede

sem fio foi considerada por meio da AR e do BIM. O sistema de localização em tempo real (RTLS) e a estrutura virtual são desenvolvidos para rastrear a localização do trabalhador e decidir se ele deve usar o EPI e emitir um aviso mostrando também se o EPI está sendo usado adequadamente.

Os resultados deste artigo demonstram que os métodos tradicionais de gerenciamento do uso de EPIs não foram amplamente eficazes. No entanto, o estudo oferece uma solução para esse problema ao fornecer uma abordagem eficaz para identificar automaticamente os comportamentos de uso indevido (ou não uso) de EPIs por meio da integração de tecnologia. Além disso, o estudo avalia o desempenho da segurança pessoal dos trabalhadores utilizando uma plataforma multiusuário de suporte para obter a posição em tempo real dos trabalhadores em relação às zonas de perigo virtuais. [6].

De maneira similar, outra investigação embasou-se na criação de caminhos virtuais em contextos realistas do canteiro de obra. A metodologia que galgou o desenvolvimento do estudo foi inicialmente revisão de literatura para entender os parâmetros tecnológicos no âmbito da SST no contexto da engenharia civil e posteriormente a importação de elementos de segurança nos canteiros de obras para o modelo tridimensional de projeto e a seguir a criação de rotas virtuais para identificação de locais de risco. [7]

Como resultados, os pesquisadores entenderam que a realidade aumentada está madura para criar experiências de formação na construção, desde percursos simples até narrativas complexas. Novas metodologias e ferramentas são necessárias para automatizar cada vez mais o processo e torná-lo mais abrangente e simples de ser implementado. A AR pode atrair jovens para o setor e oferecer uma estrutura intuitiva para os idosos, ou seja, é uma ferramenta democrática e atrativa. Essas abordagens podem ser adaptadas para diferentes projetos, priorizando riscos específicos. A validação extensiva é essencial para garantir eficiência e identificar melhorias [7].

Ademais, outros pesquisadores [8] exploram a criação de uma biblioteca de objetos inteligentes e suas aplicações práticas. A metodologia utilizada no trabalho para criar a biblioteca de objetos do canteiro de obras envolveu quatro etapas: definir a lista de objetos e categorias, estabelecer os requisitos específicos de cada objeto, desenvolver uma ficha de informação de objetos e validar a biblioteca por meio de sessões colaborativas de AR.

Os resultados do artigo incluem a criação de uma biblioteca com 168 itens para treinamento de segurança em AR, mostrando-se eficaz na produção de cenários de AR para treinamento de segurança na construção. Os principais benefícios destacados incluem a facilitação do processo de produção de treinamento em AR, a padronização de conteúdos de cenários de sites e a contribuição para a eficácia do treinamento de segurança na construção através da realidade aumentada. O estudo ressalta a falta de conteúdos digitais organizados para produção de cenários de sites de AR, buscando assim promover a adoção dessas tecnologias como ferramentas de treinamento de segurança na construção civil [8].

Pesquisadores [4] fazem uma revisão sistemática da literatura abordando como as práticas de gestão de segurança na construção podem se beneficiar das aplicações de tecnologias de construção de projeto virtual (VDC), através da modelagem de informações de construção (BIM), realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR), sistemas de informação geográfica (GIS), e tecnologia de jogos. A pesquisa demonstrou que as tecnologias VDC podem melhorar substancialmente a segurança na construção, transformando os procedimentos de segurança tradicionais orientados para documentos em práticas de segurança digitalizadas, o que permite uma melhor visualização e análise no que tange aos locais de construção para que sejam concebidas medidas de segurança proativas e formações de segurança eficazes.

O estudo retrata ainda desafios como lacunas de investigação relativas a estas ferramentas digitais que impedem atualmente a sua utilização generalizada na segurança da construção. A melhoria em dispositivos imersivos é um ponto latente, pois, embora a aplicação destes dispositivos na indústria da construção seja relativamente nova, o custo dos equipamentos e de implementação ainda é relativamente elevado. O treinamento e educação em segurança é um desafio muito importante que foi abordado, pois em primeiro lugar, a implementação das tecnologias em tempo real é difícil e podem interferir em prazos apertados. Em segundo lugar, a maioria das investigações centra-se num perigo específico e não aborda questões de segurança em detalhe, resultando em lacunas no treinamento. Por último, o custo de criação destes módulos de segurança simulados é relativamente elevado, e a implementação depende em grande parte da adesão de todas as partes interessadas [4].

Outro desafio importante abordado é a falta de estudo sobre alguns fatores internos e externos, como por exemplo a análise de um clima rigoroso que pode ameaçar a segurança da construção. Assim, a investigação sobre como a tecnologia poderia ajudar a mitigar as ameaças à segurança que ocorrem devido a circunstâncias observadas e imprevistas, tais como condições meteorológicas inseguras, é insuficiente. Além disso, alguns fatores internos aos trabalhadores, como problemas psicológicos ou fatores cognitivos, necessitam de uma maior abordagem em pesquisas desta esfera [4].

Segundo outra pesquisa [9], a tendência do BIM é ser visto como uma ferramenta potencialmente revolucionária para a gestão de projetos de construção, fornecendo uma plataforma onde a segurança pode ser planejada e gerenciada de forma mais eficaz. A pesquisa sugere que o uso do BIM pode ser expandido para incluir dados de segurança, facilitando a identificação e mitigação de riscos antes que se tornem problemas reais no canteiro de obras.

A pesquisa ressalta ainda uma tendência no desenvolvimento de softwares e aplicações específicas que integram AR e VR ao BIM para uso em fases específicas da construção, como planejamento, execução e manutenção. Além disso, os autores salientam a respeito da necessidade crescente de pesquisas focadas na interoperabilidade entre diferentes tecnologias de VDC, para garantir que elas possam trabalhar juntas de forma eficaz e eficiente [9].

Os resultados das pesquisas citadas se interrelacionam e se complementam ao explorar a integração de tecnologias BIM (Building Information Modeling) e AR (Realidade Aumentada) para aprimorar a segurança no setor da construção civil. Cada estudo foca em diferentes aspectos e aplicações dessas tecnologias, contribuindo para uma visão mais abrangente e aprofundada da sua utilização.

Pesquisadores [5] abordam como a integração de BIM e AR pode melhorar o planejamento do espaço de trabalho e a gestão da segurança, permitindo que o conhecimento dos trabalhadores seja incorporado no planejamento. Esse estudo destaca a eficácia da simulação imersiva em AR para ajustes em tempo real baseados no feedback dos trabalhadores. Em paralelo, outro estudo [6] foca no uso de tecnologias para monitorar e controlar remotamente a utilização de EPIs, demonstrando que a integração de BIM e AR pode resolver problemas de uso inadequado de EPIs através de uma abordagem automatizada. Estudiosos [7] complementam esses resultados ao mostrar como a criação de caminhos virtuais e simulações em AR pode identificar locais de risco no canteiro de obras, facilitando a formação de trabalhadores em segurança.

Outro estudo [8] acrescenta ao desenvolvimento dessa temática com a criação de uma biblioteca de objetos inteligentes para treinamento em AR, destacando a padronização e facilitação de treinamentos de segurança. Pesquisadores [4] ampliam essa discussão ao revisar sistematicamente a literatura sobre como as tecnologias VDC, incluindo BIM e AR, podem transformar práticas tradicionais de segurança em procedimentos digitalizados mais eficazes. Essa pesquisa também identifica desafios, como o custo e a implementação de dispositivos imersivos, que ainda precisam ser superados para a adoção generalizada dessas tecnologias.

Por fim, é discutido o potencial revolucionário do BIM para a gestão de projetos de construção, enfatizando a necessidade de interoperabilidade entre diferentes tecnologias e a expansão do uso do BIM para incluir dados de segurança. Além disso, é ressaltado a importância de desenvolver softwares e aplicações específicas que integrem AR e VR ao BIM, contribuindo para uma gestão de segurança mais eficiente e eficaz [9].

A contribuição dessas pesquisas para o setor da construção civil é significativa, pois demonstram como a integração de BIM e AR pode melhorar a segurança no trabalho ao permitir um planejamento mais realista e informado, monitoramento e controle automatizado de EPIs, treinamento de segurança mais eficaz e digitalização de práticas de gestão de segurança. Essas tecnologias oferecem novas oportunidades para identificar e mitigar riscos de maneira proativa, melhorando as condições de trabalho e reduzindo a incidência de acidentes no setor.

Diante disso, os resultados e discussões do artigo sugerem que, embora existam desafios significativos na implementação completa dessas tecnologias devido a questões como custo, complexidade técnica e curva de aprendizado, as oportunidades para melhorar a eficiência, a segurança e a produtividade nos projetos de construção são substanciais. A integração dessas tecnologias está se tornando cada vez mais viável

e promissora, com potenciais aplicações práticas e benefícios que podem revolucionar a indústria da construção.

CONCLUSÃO

Várias pesquisas sobre BIM e realidade aumentada combinados com saúde e segurança no trabalho foram investigadas nos últimos anos devido aos vários benefícios que foram demonstrados. Este artigo fornece uma visão abrangente da literatura no que tange aos fatores que influenciam um ambiente de trabalho seguro correlacionado às novas tecnologias BIM e realidade aumentada.

Os resultados apresentados facultam o entendimento que existe um grande potencial para a melhoria da saúde e segurança do trabalho quando integramos novas tecnologias como BIM e AR. Além disso, essas ferramentas podem aumentar a consciência de segurança dos trabalhadores, reduzindo as probabilidades de acidentes no ambiente de trabalho e mitigando riscos.

Neste sentido, esta pesquisa demonstrou a eficácia da utilização de ferramentas BIM e de realidade aumentada quando temos o objetivo de ter melhorias no desempenho da saúde e segurança do trabalho e de um ambiente de trabalho seguro.

Com efeito, este estudo apresentou contribuições para profissionais de engenharia, já que evidenciou diversas soluções tecnológicas, relacionadas ao BIM e realidade aumentada, para a melhoria da saúde e segurança dos trabalhadores no ambiente de trabalho. Adicionalmente, poderá ainda subsidiar outros pesquisadores na busca por uma melhor compreensão sobre as inovações tecnológicas para um ambiente de trabalho seguro.

Para pesquisas futuras, é reconhecido que o pequeno conjunto de dados da pesquisa pode influenciar os resultados, sugerindo a necessidade de ampliar a quantidade de artigos revisados. Uma pesquisa adicional pode ser conduzida para identificar os principais fatores que resultam em acidentes dentro de um canteiro de obras (por meio da metodologia Delphi) e correlacionar se novas tecnologias, como BIM e AR, podem evitar ou mitigar tais acidentes.

Para contribuição científica, este estudo destaca algumas lacunas de pesquisa no que tange à integração de tecnologias BIM e AR para a melhoria da saúde e segurança do trabalho, evidenciando alguns desafios de implementação de novas tecnologias, como, por exemplo, custo de equipamentos e implementação, complexidade técnica, curva de aprendizado, melhoria em dispositivos imersivos, tempo de treinamento e a falta de estudos de fatores externos e internos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

[1] FILGUEIRAS, Vitor Araújo et al. Saúde e segurança do trabalho no Brasil. Saúde e Segurança do Trabalho no Brasil. Brasília, p. 19-78, 2017.

[2] ANAMT. Construção civil está entre os setores com maior risco de acidentes de trabalho. Disponível em: <https://www.anamt.org.br/portal/2019/04/30/construcao-civil-esta-entre-os-setores-com-maior-risco-de-acidentes-de-trabalho/>. Acesso em: 01 ago. 2024.

[3] AFZAL, M.; SHAFIQ, M. T. Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew. **Buildings**, v. 11, n. 8, p. 319, 26 jul. 2021.

[4] AFZAL, M.; SHAFIQ, M. T.; JASSMI, H. A. Improving construction safety with virtual-design construction technologies – a review. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 26, p. 319–340, 20 jul. 2021.

[5] 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, 24 abr. 2020.

[6] DONG, S.; LI, H.; YIN, Q. Building information modeling in combination with real time location systems and sensors for safety performance enhancement. **Safety Science**, v. 102, p. 226–237, fev. 2018.

[7] MORA-SERRANO, J.; MUÑOZ-LA RIVERA, F.; VALERO, I. Factors for the Automation of the Creation of Virtual Reality Experiences to Raise Awareness of Occupational Hazards on Construction Sites. **Electronics**, v. 10, n. 11, p. 1355, 6 jun. 2021.

[8] GETULI, V. et al. A smart objects library for BIM-based construction site and emergency management to support mobile VR safety training experiences. **Construction Innovation**, v. 22, n. 3, p. 504–530, 8 jun. 2022a.

[9] SCHIAVI, B. et al. BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction. **Automation in Construction**, v. 134, p. 104054, fev. 2022.

[10] AHN, S. et al. Improving Effectiveness of Safety Training at Construction Worksite Using 3D BIM Simulation. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1–12, 29 fev. 2020.

[11] DOBRUCALI, E. et al. Investigating the impact of emerging technologies on construction safety performance. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 31, n. 3, p. 1322–1347, 1 mar. 2024.

[12] FARGHALY, K. et al. Digital information technologies for prevention through design (PtD): a literature review and directions for future research. **Construction Innovation**, v. 22, n. 4, p. 1036–1058, 28 nov. 2022.

[13] GETULI, V. et al. BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. **Automation in Construction**, v. 114, p. 103160, jun. 2020.

[14] HIRE, S.; SANDBHOR, S.; RUIKAR, K. A Conceptual Framework for BIM-Based Site Safety Practice. **Buildings**, v. 14, n. 1, p. 272, 19 jan. 2024.

[15] MANZOOR, B. et al. A Research Framework of Mitigating Construction Accidents in High-Rise Building Projects via Integrating Building Information Modeling with Emerging Digital Technologies. **Applied Sciences**, v. 11, n. 18, p. 8359, 9 set. 2021.

[16] RAMOS-HURTADO, J. et al. Proposal for the Deployment of an Augmented Reality Tool for Construction Safety Inspection. **Buildings**, v. 12, n. 4, p. 500, abr. 2022.

[17] **Scopus - Document details - Virtual Reality for the Creation of Stories and Scenarios for Construction Safety: Social Distancing in the COVID-19 Pandemic Context**. Acesso em: 15 abr. 2024.

[18] SHAFEI, H.; RAHMAN, R. A.; LEE, Y. S. Evaluating Construction 4.0 technologies in enhancing safety and health: case study of a national strategic plan. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 29 jan. 2024.