



Gestão dos riscos ocupacionais na indústria da construção civil utilizando o BIM

Management of occupational risks in the construction industry using BIM

LIMA, Maria Cristina Alves de¹; SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da²; SILVA, Ana Karla Batista da³;

mcristina.2411@gmail.com¹; marcos.abs@ufopa.edu.br²; anakarlabatista@hotmail.com³

¹Mestra em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UPE.

²Doutorando em Engenharia Civil, Professor do Departamento de Engenharia Civil, UFOPA.

³Doutoranda em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFPE.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Industria 4.0

Segurança do Trabalho

Tecnologias Habilitadoras

Construção Civil

Gerenciamento

Key words:

Industry 4.0

Workplace Safety

Enabling Technologies

Construction

Management

Resumo:

Na Indústria 4.0 a gestão dos riscos ocupacionais vem sendo favorecida com a utilização das tecnologias habilitadoras. Neste sentido, este artigo objetiva identificar como o Building Information Modeling – BIM, vem sendo utilizado na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da construção e quais benefícios apresenta. A metodologia utilizada consistiu na revisão sistemática da literatura por meio da base de dados Scopus. Esta pesquisa se mostra relevante ao destacar não só os benefícios, mas as diversas ferramentas tecnológicas que podem ser associadas ao BIM, como: os sensores de localização, algoritmos, redes neurais, bancos de dados, realidade virtual, Revit e Navisworks. Dentre os benefícios encontrados, destacam-se: o trabalho cooperativo entre os stakeholders, a troca de informações facilitada em um ambiente multidisciplinar e a visualização 3D. Em síntese, independente do BIM associado ou não a outras ferramentas tecnológicas, a melhoria dos procedimentos efetivos de controle e monitoramento se mostram eficazes e sustentáveis.

Abstract

In Industry 4.0, occupational risk management has been favored by the use of enabling technologies. In this sense, this article aims to identify how Building Information Modeling – BIM, has been used in occupational risk management in the construction industry and what benefits it offers. The methodology used consisted of a systematic review of the literature through the Scopus database. This research is relevant in highlighting not only the benefits, but also the various technological tools that can be associated with BIM, such as: location sensors, algorithms, neural networks, databases, virtual reality, Revit and Navisworks. Among the benefits found, the following stand out: cooperative work between stakeholders, the exchange of information facilitated in a multidisciplinary environment and 3D visualization. In summary, regardless of whether BIM is associated or not with other technological tools, the improvement of effective control and monitoring procedures proves to be effective and sustainable.

1. Introdução

O conceito de Construção 4.0 implica uma ampla e profunda transformação dos processos de gestão de projetos dos empreendimentos de construção, por meio da utilização de dados em tempo real usando tecnologias na tomada de decisão [1]. O progresso lento na adoção e implementação das tecnologias 4.0 no setor da construção deve-se principalmente ao custo econômico, a aceitação da tecnologia, a maior exigência de equipamentos e a falta de conhecimento [2].

A indústria da construção é considerada o quarto setor mais perigoso em número de fatalidades [3]. Apresenta taxa de acidentes ocupacionais mais alta do que outras indústrias [4]. Estudos revelam que os comportamentos inseguros de movimentação dos trabalhadores são uma das principais razões de fatalidades no canteiro de obras, resultando em colisões graves com objetos ou máquinas do local [5].

O risco de queda é o tipo de ocorrência mais perigosa no mundo. Os gerentes atribuem isso aos pobres procedimentos na implementação de regulamentos de segurança, bem como na dificuldade de prever, com precisão, os riscos de acidente [6]. Ainda segundo os autores, a detecção precoce de perigo durante o ciclo de vida do projeto pode contribuir na proteção dos trabalhadores quanto à exposição aos riscos que afetam o tempo e o custo. E a natureza mutável dos locais também dificulta a identificação exata desses riscos.

Em relação aos locais de construção esses necessitam ser monitorados continuamente para detectar condições inseguras e proteger os trabalhadores de possíveis lesões e acidentes fatais. De acordo com Park *et al.* [7], nas práticas atuais, o acompanhamento da segurança da construção depende muito da observação *in loco* de forma manual, o que exige muito trabalho e está sujeita a erros. Sem deixar de mencionar que os canteiros de obras são ambientes complexos, o que torna a atividade de monitoramento extremamente desafiadora para os profissionais da segurança,

principalmente se essa identificação dos riscos, a que possam estar expostos os trabalhadores, ocorrer de forma manual [7].

Nesse sentido, os autores Getuli *et al.* [8], vem corroborar ao dizer que a construção civil é considerada um processo complexo e dinâmico, que abrange muitos fatores que são potencialmente perigosos para os trabalhadores. E, Khan *et al.* [9] ratificam ao colocar que apesar da forte aplicação de melhores práticas e regulamentações de construção, os acidentes na engenharia civil são mais altos do que em outras indústrias. Dessa forma, muitos estudos comprovam que a melhoria das medidas preventivas e proativas – incluídas dinamicamente no projeto, planejamento e construção da edificação – poderiam reduzir os acidentes locais, bem como aumentar a produtividade [8].

Outrossim, trata-se da escavação do solo que é uma etapa fundamental na construção e no desenvolvimento de infraestruturas. E, com a crescente exploração e utilização de espaços subterrâneos, a escavação de poços de fundação profundos e adjacentes aos metrô existentes, por exemplo, vem causando problemas de segurança. Pensando em evitar esse tipo de acidente nos túneis durante o processo de construção, e assim garantir a segurança de vidas, sistemas de alerta precoce baseado no risco estão sendo utilizados [10].

Além disso, tem-se as plataformas *offshore* de petróleo e gás que podem causar graves fatalidades e prejuízos financeiros, considerando a demanda do ambiente em que estão localizadas e a complicada estrutura que possuem; sendo assim, realizar um planejamento de evacuação nessas plataformas torna-se um grande desafio [11].

Outra dificuldade consiste no gerenciamento de segurança eficaz que é um aspecto fundamental no gerenciamento de projetos de construção. As práticas atuais de gerenciamento de segurança são fortemente orientadas a documentos que contam com dados históricos para identificar riscos potenciais em um canteiro de obras [12].

Logo, a ampliação da digitalização das atividades burocráticas tem um grande potencial de otimização organizacional, ao minimizar os riscos de perda de documentos e agilidade nos procedimentos internos [13].

Diante do exposto, o setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) sempre foi reconhecido como um setor competitivo e complexo. Nos últimos anos, o aumento da demanda por projetos de construção em diferentes áreas, como segurança, energia e gestão de custos, levou a indústria a novas ferramentas e métodos, incluindo o uso mais eficiente de tecnologias digitais [14].

Pesquisadores acadêmicos e profissionais da área de engenharia civil têm, atualmente, dedicado esforços a segurança na fase de pré-construção do projeto [9]. O conceito de *Prevention Trough Design* (PtD) tem sido amplamente reconhecido como uma das abordagens mais eficazes para eliminar ou reduzir os riscos nos canteiros de obras [15].

Engenheiros e arquitetos são incentivados a considerar a segurança e saúde ocupacional durante as fases de planejamento e projeto, no entanto, a implementação de PtD é muitas vezes inibida porque os projetistas não possuem conhecimento adequado sobre segurança e o processo de construção, bem como ferramentas e procedimentos limitados na hora de projetar [15].

Portanto, o *Building Information Modeling* (BIM) pode ser utilizado para o monitoramento da produtividade e da segurança simultaneamente, ajudando as partes interessadas a acompanharem os dois parâmetros nas fases iniciais do processo de construção [16]. Pois, um sistema inteligente baseado em BIM possibilita a identificação e o gerenciamento de projetos inseguros e os possíveis riscos aos trabalhadores. Sendo assim, os usuários podem acompanhar de perto a melhoria da segurança e a produtividade antes do projeto e a medida em que o projeto avança, favorecendo a tomada de decisões eficazes de alocação de recursos, por exemplo [7]. Enfim, este artigo buscou

identificar a utilização do BIM na gestão dos riscos ocupacionais na Indústria 4.0.

2. Referencial Teórico

Saúde e segurança no setor da construção são questões muito importantes devido ao alto índice de acidentes no setor [17]. Principalmente, as ocorrências de queda que são as mais perigosas no mundo; e os profissionais atribuem isso aos procedimentos deficientes de implementação de segurança e a dificuldade de prever os fatores [6]. Outrossim é a falta de familiaridade dos projetistas com os riscos ergonômicos nas diversas etapas de um projeto [18].

Nesse sentido, o uso de novas tecnologias como o BIM, verificação automatizadas e sistemas de segurança baseada em tecnologias da informação, podem melhorar o controle e desempenho dos trabalhadores nos canteiros de obra, além de melhorar a interação entre os executivos operacionais, reduzindo assim os acidentes [19]. Inclusive, com o BIM é possível utilizar uma abordagem eficaz para mitigar os riscos ergonômicos e prevenir as condições de trabalho inseguras na fase de projeto [6].

O planejamento eficaz do espaço de trabalho é conhecido por desempenhar um papel crucial no planejamento do local e na programação das atividades de construção [8]. Conforme Yuan *et al.* [20], eliminar os riscos de segurança no início de um projeto de construção se encontra no topo da hierarquia de controle, pois é na fase de projeto a primeira oportunidade de pensar na segurança dos trabalhadores. A partir de um modelo digital do canteiro de obra é possível obter índices de segurança que refletem situações reais, permitindo estimar a influência dos fatores de riscos e prevenir o surgimento de situações perigosas [21].

A União Europeia vem promovendo o desenvolvimento de projetos em BIM, pois o trabalho colaborativo entre os *stakeholders*, executado nessa tecnologia, pode reduzir a interferência que ocorrem na fase de projeto. A integração da avaliação de risco de

segurança e saúde requer o desenvolvimento de uma biblioteca completa de objetos BIM, principalmente com as medidas preventivas regulamentadas pelas normas [17].

Uma biblioteca estruturada de objetos de canteiro de obras destinada à realização de cenário de Realidade Virtual (RV) baseada em BIM, pode ser utilizada no treinamento de segurança, sendo necessário um ativo abrangente para a produção desses cenários virtuais para a capacitação da equipe [22].

Modelos de gestão de processos e técnicas de visualização de informações como o BIM e à RV vem contribuindo com o avanço das práticas de gestão da segurança. Os autores Getuli *et al.* [8], mostram um protocolo de treinamento de Segurança e Saúde do Trabalho (SST) baseado em simulações de atividade de RV habilitadas por BIM, como viáveis. Ele usa um *kit* de ferramentas personalizado com uma solução de smartphone móvel para administrar cenários de treinamento de segurança, o que aumenta sua portabilidade no canteiro de obras [8].

Também, os processos de planejamento do espaço de trabalho podem ser aprimorados com a utilização de tecnologias de RV e BIM, pois estimula o conhecimento dos trabalhadores experientes e integra ao conhecimento dos gerentes de construção [8].

E a visualização por meio da RV habilitada para o BIM 4D pode melhorar o fluxo de informações e a troca de conhecimento em um ambiente multilíngue, onde a equipe do local de trabalho não fala um idioma comum, segundo Afzal e Shafiq [12]. O ambiente de RV cria um cenário real e isso facilita a detecção de problemas de segurança. O BIM 4D e a RV podem minimizar a insegurança em canteiros de obra e maximizar o compartilhamento de conhecimento, além de facilitar o treinamento da equipe de trabalho [12].

Com o BIM 4D é possível criar um modelo computacional que apresente, com exatidão, os riscos de queda em altura e os riscos dos trabalhadores serem atingidos por

queda de objetos. Os detalhes e a sequência de trabalho do modelo favorecem a compreensão dos gerentes de segurança, possibilitando uma escolha mais acertada dos equipamentos de proteção e um melhor treinamento da equipe, pois aumenta a comunicação de segurança, além de evitar perdas de tempo e de custos [6].

De acordo com Swallow e Zulu [23], os principais benefícios do BIM 4D consiste na visualização e comunicação clara dos resultados do projeto, que possibilitam o planejamento do local e a logística. Bem como, o monitoramento e controle da segurança que pode permitir uma ação rápida nos processos de prevenção [21].

Também as ferramentas computacionais que são consideradas excelentes para planejar a evacuação por meio da simulação de emergência, pois o BIM integrado a um modelo de matriz e a um modelo de rede mostrou-se bastante eficiente na gestão da segurança com menor custo e um menor risco [11].

Outro benefício com a utilização do BIM 4D consiste na visualização dos processos, fazendo com que os gerentes de segurança compreendam os detalhes e a sequência de trabalhos, facilitando a identificação precisa dos perigos de queda e quais os equipamentos de segurança mais apropriados para cada risco, assim como, a utilização do modelo como programa de treinamento para os trabalhadores [6]. Os autores também apontam o BIM 4D como excelente ferramenta para a previsão antecipada de riscos de queda por apresentar uma imagem clara de todo canteiro de obra, além de facilitar a comunicação e criar um cronograma seguro de projeto.

Uma pesquisa desenvolvida por Afzal e Shafiq [12], mostrou que houve uma melhoria significativa no reconhecimento de perigos pela equipe de trabalho, ao compreender os protocolos de segurança e atuar nas tomadas de decisão, com o uso do BIM 4D associado a realidade virtual.

É um *plug-in* que vincula o BIM ao Revit com dados de risco de segurança, que calcula automaticamente os perigos na construção, pode ajudar arquitetos e projetistas estruturais a encontrarem soluções que otimizam a saúde e segurança da construção [4].

Com o BIM é possível usar códigos de cores e filtros que facilitam a identificação, analisam e gerenciam os riscos, que ao serem detectados apresentam medidas que podem minimizar ou mitigar o número de acidentes [17].

Ainda como benefício encontra-se um modelo de evacuação de plataformas de *offshore* de petróleo e gás, com informações necessárias extraídas do BIM e usadas para modelar o ambiente de simulação integrando o modelo de matriz e o modelo de rede; além dos atributos essenciais, as funções de detecção de ambiente e planejamento de caminho de fuga dinâmico são desenvolvidas e atribuídas aos agentes para melhorar o desempenho da simulação [11].

Com relação aos túneis utilitários, que servem como construção subterrânea e infraestrutura de longa distância, que estão frequentemente envolvidos em acidentes graves, um diagrama de tipologia BIM baseado na combinação de dados de sensores em tempo real com redes internas, melhora a identificação do posicionamento do pessoal de reparo dentro dos túneis, agilizando o processo de tomada de decisão da equipe de emergência [24].

No estudo desenvolvido por Khan *et al.* [9], em obras subterrâneas, foi utilizado um conjunto de algoritmos baseados em regras desenvolvido em *software* comercialmente disponível utilizando linguagem de programação visual. Esse sistema identifica e visualiza automaticamente desmoronamentos, riscos de queda e de zona proibida, com imagens geradas em 3D, uma vantagem em relação aos modelos 2D [9].

O reconhecimento automatizado de objetos nos canteiros de obra foi facilitado com a fusão da rede neural convolucional e o BIM, onde a identificação de peças

construtivas, como divisórias pré-fabricadas, são operadas com guindastes [25]. Sendo assim, a aplicação de redes neurais artificiais e BIM em projetos de engenharia vem contribuindo nas construções em espaços subterrâneos. Uma rede neural de retro propagação prevê a deformação em tempo real de túneis com base nos dados de monitoramento do canteiro de obra. A avaliação é estabelecida com base em especificações e um sistema de avisos inteligente é exibido de forma tridimensional (3D) usando o BIM, dessa forma, o modelo fornece aos gerentes informações visuais rápidas e precisas agilizando a tomada de decisão [10].

Um Sistema de Identificação de Riscos de Segurança (SIRS) e um Sistema de Alerta Precoce (SAP), baseado em BIM, foi utilizado na construção de um metrô da China. O SIRS constrói um banco de dados com identificação de risco, projeta algoritmo de correspondência de recuperação e calcula o nível de confiança de risco; e o SAP adota o banco de dados, projeta algoritmo de correspondência de recuperação e calcula o grau de confiança de risco [26].

Vale destacar a plataforma Revit para o desenvolvimento de módulo de gerenciamento de segurança para canteiros de obra, e o Navisworks que pode ser utilizado para simular uma forma de resgate emergencial dos acidentes de construção e formular um plano de gestão de emergência [27]. O módulo de gerenciamento desenvolvido no Revit é extremamente operacional, de fácil manuseio e apresenta atualização de dados em tempo real; já a simulação feita no Navisworks pode fornecer planos de gerenciamento de emergência para projetos de engenharia., em que as informações BIM são interrelacionadas o que reduz a carga de trabalho e o tempo de processamento dos dados [27].

Um projeto desenvolvido na cidade-Estado de Cingapura mostra um sistema inteligente de produtividade e segurança utilizando o BIM. O sistema permite que os profissionais verifiquem os erros, mitigando

os riscos causados pela deficiência de projeto e escolha inadequada de materiais, por exemplo [28].

Assim, os benefícios do BIM na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da arquitetura, engenharia, construção e operação são inúmeros. Inclusive a utilização da Realidade Aumentada (RA), vem sendo bastante usada com o BIM. No Quadro 1 no Apêndice A é possível verificar alguns dos benefícios que a tecnologia BIM apresenta para a indústria AECO, a partir desta revisão da literatura.

Os autores Yuan *et al.* [20], afirmam que a prevenção de acidentes por meio de projetos pode ser criada a partir de uma base de dados com regulamentos de segurança, documentos com riscos e melhores práticas na gestão e controle de prevenção e saúde do trabalhador, utilizando-se algoritmos para extrair e julgar informações, baseada em regras automatizadas combinadas ao BIM que abrem janelas *pop-up* de alerta contendo número de identificação de risco e medidas de pré-controle durante a execução do projeto no Revit [20].

Também vale ressaltar que a enorme demanda da construção em espaços subterrâneos, como poços de fundação profundos, estão se tornando cada vez mais comuns nesse setor. E devido aos graves efeitos associados aos acidentes que ocorrem em poços de fundação profunda, é muito importante que o gerenciamento de segurança de construções subterrâneas seja proativo, direcionadas e eficazes [29].

Embora os benefícios do BIM sejam muitos, Swallow e Zulu [23] apontam como barreiras: os altos custos para treinamento, tempo de implementação e resistência a adoção da metodologia. Estudos no Reino Unido investigaram os benefícios e as barreiras para a adoção da modelagem BIM 4D no gerenciamento de segurança em canteiros de obra. Embora 70% dos diretores/gerentes e 74% dos profissionais conheçam os *softwares* 4D, a taxa de adoção, no Reino Unido, em média, é de 31,2%. Os dados mostram que a indústria ainda não

absorveu esse processo como uma “prática padrão” no gerenciamento de segurança [23].

Outro estudo desenvolvido no Irã, mostra a escassez de pessoal capacitado, baixa demanda dos clientes, alto custo dos *softwares* e falta de apoio governamental para o uso do BIM na indústria da construção e na formação dentro das instituições educacionais, como fatores que levam ao fracasso no que diz respeito a adoção dessa metodologia [19]. Os autores ainda sugerem para a promoção do BIM na indústria iraniana: gerentes com maior compreensão do fluxo de trabalho dos projetos, líderes de equipes cientes das vantagens e desvantagens dos *softwares* BIM, conhecimento tecnológico atualizado e guias/manuais claros para o uso das ferramentas, além de iniciar em pequenos projetos.

Portanto, quanto mais a indústria da AECO se conscientizar dos benefícios dos modelos BIM 4D, maior será a quebra de barreiras e adaptação aos avanços tecnológicos, pois com a mudança de cultura dos envolvidos, a abordagem será mais colaborativa e a compreensão dos processos será mais bem sucedida, favorecendo assim o gerenciamento da saúde e segurança dos trabalhadores [23].

Sendo assim, a identificação precoce dos riscos no ciclo de vida do projeto contribui de forma efetiva na prevenção e proteção nos ambientes de trabalho, evitando os perigos que podem resultar em excedentes de tempo e custos das obras [6].

3. Metodologia

A pesquisa consiste em uma Revisão Sistemática da literatura (RSL), baseada na metodologia utilizada por Lima *et al.* [30], realizada em três fases: planejamento (definição da questão, seleção da base de dados e formulação do *string* de busca), condução (seleção e extração dos dados) e documentação (síntese e análise dos dados, sumarização e conclusão).

Na busca por informações acerca da utilização do BIM na gestão dos riscos ocupacionais, principalmente na indústria da construção, palavras-chave combinadas a descritores *booleanos* (*AND* e *OR*) deram origem ao *string* de busca: "*construction industry*" *AND* ("*health and safety*" *OR* "*construction health and safety*" *OR* "*accidents*") *AND* BIM. E os artigos selecionados para esta pesquisa foram encontrados na base de dados *Scopus*, disponibilizado pelo Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. O Quadro 2 no Apêndice B mostra o resumo do procedimento metodológico da RSL.

A busca considerou apenas artigos de periódicos e de conferências, com ano de publicação compreendido entre 2022 e 2024, trabalhos escritos em inglês, além de serem abertos. Os critérios de inclusão dos artigos na pesquisa, consideraram a utilização do BIM na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da construção civil.

4. Resultados e Discussões

A Figura 1 no Apêndice C mostra o fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), com o número de artigos correspondentes em cada etapa da RSL.

A seguir se encontra a síntese dos dados bibliométricos obtidos com a RSL na Tabela 1, em que aparece os países de onde são os artigos, as tecnologias utilizadas nos estudos, o ano de publicação e seus respectivos números de artigos incluídos nesta pesquisa.

Tabela 1. Síntese dos dados da RSL.

Países	China, Reino Unido, Espanha, Canadá, Austrália, Chipre, Turquia, Coreia do Sul, Vietnã e Portugal		
Tecnologias associadas ao BIM	Internet das Coisas (IoT), dispositivos móveis, redes neurais, gêmeos digitais, RA, RV, Revit, GIS e Navisworks		
Ano	2022	2023	2024
Nº de artigos	05	04	06

Fonte: Autores (2024)

Na sequência, o Quadro 3 do Apêndice D, apresenta o resumo dos artigos incluídos na pesquisa, em que é possível identificar os autores e a forma de utilização do BIM na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da construção civil.

Enfim, a inspeção *in loco*, a falta de profissionais capacitados, as falhas de gerenciamento de segurança e a lentidão na troca de informações, são alguns dos problemas enfrentados no setor da construção. As formas artesanais de gerenciamento da saúde e segurança nas indústrias, impedem que os avanços decorrentes da indústria 4.0 ocorram dentro da engenharia civil, no entanto, os resultados apresentados nesta RSL mostram que o BIM, associado ou não a outras tecnologias, tornam-se essenciais no processo de industrialização da construção civil.

5. Considerações Finais

Este artigo buscou abordar a utilização do BIM na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da AECO. Sabe-se que muitas são as tecnologias habilitadoras que podem contribuir com a saúde e segurança do trabalhador. Ferramentas como big data, visão computacional, inteligência artificial, RA e aprendizagem de máquina, são alguns desses artifícios utilizados pela Indústria 4.0 na gestão dos riscos.

O destaque das contribuições do BIM, nesse estudo, foi o trabalho cooperativo entre os *stakeholders*, a troca de informações facilitada em um ambiente multidisciplinar e a visualização 3D. O monitoramento e o controle da segurança, através do BIM, minimizam os riscos de lesões e as fatalidades. O nível de detalhamento e a sequência de trabalho foram favorecidos com o BIM 4D, onde a compreensão e as escolhas dos equipamentos de proteção foram mais eficientes.

Além disso, com o BIM é possível um planejamento mais eficaz do espaço de trabalho, visando a evacuação do canteiro de obras em caso de urgência, minimizando as

perdas de tempo e de custo. Bem como, o BIM associados a outras tecnologias como sensores de localização, algoritmos, redes neurais, bancos de dados, realidade virtual, Revit e Navisworks, apresentou-se ainda melhor na prevenção dos acidentes.

Enfim, o BIM vem sendo utilizado na gestão dos riscos ocupacionais na indústria da construção de forma eficiente, trazendo inúmeros benefícios para as empresas, trabalhadores e para a sociedade em geral. Embora o BIM apresente barreiras os seus benefícios superam as desvantagens, por isso o cenário atual vem exigindo cada vez mais a adoção em seus projetos, inclusive no Brasil.

6. Referências

- [1] DALLASEGA, P.; RAUCH, E.; LINDER, C. *Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review*. Computers in industry, v. 99, p. 205-225, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039>
- [2] ARIPIN, I. D. M.; ZAWAWI, E. M. A.; ISMAIL, Z. (2019). Factors influencing the implementation of technologies behind industry 4.0 in the Malaysian construction industry. In: *Matec web of conferences*. EDP Sciences, v. 266, p. 01006, 1-6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926601006>
- [3] HOSSEINI, O.; MAGHREBI, M. *Risk of fire emergency evacuation in complex construction sites: Integration of 4D-BIM, social force modeling, and fire quantitative risk assessment*. Advanced Engineering Informatics, v. 50, p. 101378, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101378>
- [4] LU, Y.; GONG, P.; TANG, Y.; SUN, S.; LI, Q. *BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects*. Automation in Construction, v. 124, p. 103553, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103553>
- [5] ARSLAN, M.; CRUZ, C.; GINHAC, D. *Semantic trajectory insights for worker safety in dynamic environments*. Automation in Construction, v. 106, p. 102854, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102854>
- [6] ABED, H. R.; HATEM, W. A.; JASIM, N. A. *Adopting BIM technology in fall prevention plans*. Civil Engineering Journal, v. 5, n. 10, p. 2270-2281, 2019. <https://doi.org/10.28991/cej-2019-03091410>
- [7] PARK, J.; KIM, K.; CHO, Y. K. *Framework of automated construction-safety monitoring using cloud-enabled BIM and BLE mobile tracking sensors*. Journal of Construction Engineering and Management, v. 143, n. 2, p. 05016019, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001223](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001223)
- [8] 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, p. 103160, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103160>
- [9] KHAN, N.; ALI, A. K.; SKIBNIEWSKI, M. J.; LEE, D. Y.; PARK, C. *Excavation safety modeling approach using BIM and VPL*. Advances in Civil Engineering, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1515808>
- [10] TIAN, W.; MENG, J.; ZHONG, X. J.; TAN, X. *Intelligent early warning system for construction safety of excavations adjacent to existing metro tunnels*. Advances in civil engineering, v. 2021, p. 1-12, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8833473>
- [11] CHENG, J. C.; TAN, Y.; SONG, Y.; MEI, Z.; GAN, V. J.; WANG, X.

- Developing an evacuation evaluation model for offshore oil and gas platforms using BIM and agent-based model.* Automation in Construction, v. 89, p. 214-224, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.011>
- [12] 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, 2021. <https://doi.org/10.3390/buildings11080319>
- [13] GOHR, C. F.; TORRES, C. R. S.; LIRA, W. G. *Dynamic capabilities and sustainability-oriented innovations in higher education institutions: a case study.* Gestão & Produção, v. 30, p. e4223, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2023v30e4223>
- [14] SIDANI, A.; DINIS, F. M.; DUARTE, J.; SANHUDO, L.; CALVETTI, D.; BAPTISTA, J. S.; ... SOEIRO, A. *Recent tools and techniques of BIM-Based Augmented Reality: A systematic review.* Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102500, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102500>
- [15] JIN, Z.; GAMBATESE, J.; LIU, D.; DHARMAPALAN, V. *Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase.* Engineering, Construction and Architectural Management, v. 26, n. 11, p. 2637-2654, 2019. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2018-0379>
- [16] LIN, E. T. A.; OFORI, G.; TJANDRA, I.; KIM, H. *Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore.* Engineering, Construction and Architectural Management, v. 24, n. 6, p. 1350-1371, 2017. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0122>
- [17] CORTÉS-PÉREZ, J. P.; CORTÉS-PÉREZ, A.; PRIETO-MURIEL, P. *BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance.* Automation in Construction, v. 113, p. 103115, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103115>
- [18] GOLABCHI, A.; HAN, S. U.; ABOURIZK, S. *A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning.* Automation in Construction, v. 96, p. 310-323, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.001>
- [19] MAREFAT, A.; TOOSI, H.; HASANKHANLO, R. M. *A BIM approach for construction safety: applications, barriers and solutions.* Engineering, Construction and Architectural Management, v. 26, n. 9, p. 1855-1877, 2019. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2017-0011>
- [20] YUAN, J.; LI, X.; XIAHOU, X.; TYMVIOS, N.; ZHOU, Z.; LI, Q. *Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base.* Automation in construction, v. 102, p. 86-104, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>
- [21] SHARMANOV, V. V.; SIMANKINA, T. L.; MAMAEV, A. E. *BIM in the assessment of labor protection.* Magazine of Civil Engineering, v. 1, n. 69, p. 77-88, 2017. <https://doi.org/10.18720/MCE.69.7>
- [22] 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. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0647>
- [23] SWALLOW, M.; ZULU, S. *Benefits and barriers to the adoption of 4d modeling for site health and safety management*. *Frontiers in Built Environment*, v. 4, n. 86, 2019. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00086>
- [24] YU, G.; MAO, Z.; HU, M.; LI, Z.; SUGUMARAN, V. *BIM+ topology diagram-driven multiutility tunnel emergency response method*. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 33, n. 6, p. 04019038, 2019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.000085](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.000085)
- [25] ZHOU, Y.; GUO, H.; MA, L.; ZHANG, Z.; SKITMORE, M. *Image-based onsite object recognition for automatic crane lifting tasks*. *Automation in Construction*, v. 123, p. 103527, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103527>
- [26] LI, M.; YU, H.; JIN, H.; LIU, P. *Methodologies of safety risk control for China's metro construction based on BIM*. *Safety science*, v. 110, p. 418-426, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.03.026>
- [27] DENG, L.; ZHONG, M.; LIAO, L.; PENG, L.; LAI, S. *Research on safety management application of dangerous sources in engineering construction based on BIM technology*. *Advances in Civil Engineering*, v. 2019, n. 1, p. 7450426, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7450426>
- [28] LI, X.; CHI, H. L.; LU, W.; XUE, F.; ZENG, J.; LI, C. Z. *Federated transfer learning enabled smart work packaging for preserving personal image information of construction worker*. *Automation in Construction*, v. 128, p. 103738, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103738>
- [29] FAN, W.; ZHOU, J.; ZHOU, J.; LIU, D.; SHEN, W.; GAO, J. *Safety Management System Prototype/Framework of Deep Foundation Pit Based on BIM and IoT*. *Advances in Civil Engineering*, v. 2021, p. 5539796, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5539796>
- [30] LIMA, M. C. A.; KOHLMAN RABBANI, E. R.; MIRANDA COSTA, A. L.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, A. K. B.; FERREIRA, H. S. *Aspectos de formação sustentável nos cursos de engenharia: uma revisão da literatura*. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 20, n. 2, p. 252-269, 2024. Acesso em: 12/07/2024. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/4201/4926

APÊNDICE A

Quadro 1. Resumo dos benefícios do BIM na indústria da AECO.

TECNOLOGIA	BENEFÍCIOS
BIM	Trabalho cooperativo entre os <i>stakeholders</i>
	Reduz as interferências na fase de projeto
	Permite o monitoramento e controle da segurança
	Permite ação rápida nos processos de prevenção
	Menor risco de fatalidade e riscos de lesões
	Propicia uma abordagem colaborativa multidisciplinar
	Na fase de projeto é possível obter <i>feedback</i> por meio de janelas de <i>pop-up</i> de alerta
	Visualização em 3D
BIM 4D	Permite um melhor detalhamento e sequência de trabalho favorecendo a compreensão e escolha mais acertada dos equipamentos de proteção, além de evitar perdas de tempo e de custos
	Possibilita um planejamento eficaz do espaço de trabalho
	Excelente ferramenta para planejar a evacuação em canteiros de obra
BIM + sensores	Associado a sensores de localização melhora a identificação e localização do trabalhador
BIM + algoritmos	Associado a um conjunto de algoritmos permite a identificação e visualização de desmoronamentos, riscos de queda e de zona proibida
BIM + redes neurais	Associado a redes neurais possibilita a identificação de peças construtivas e deformação de túneis
BIM + banco de dados	Possibilita avaliação de risco através do cálculo do grau de confiança de risco
BIM + RV	Permite capacitar e administrar cenários de treinamentos de segurança, além de melhorar o fluxo de informações e a troca de conhecimento em um ambiente multilíngue
BIM + Revit / Navisworks	Reduz a carga de trabalho e o tempo de processamento dos dados

Fonte: Autores (2024)

APÊNDICE B

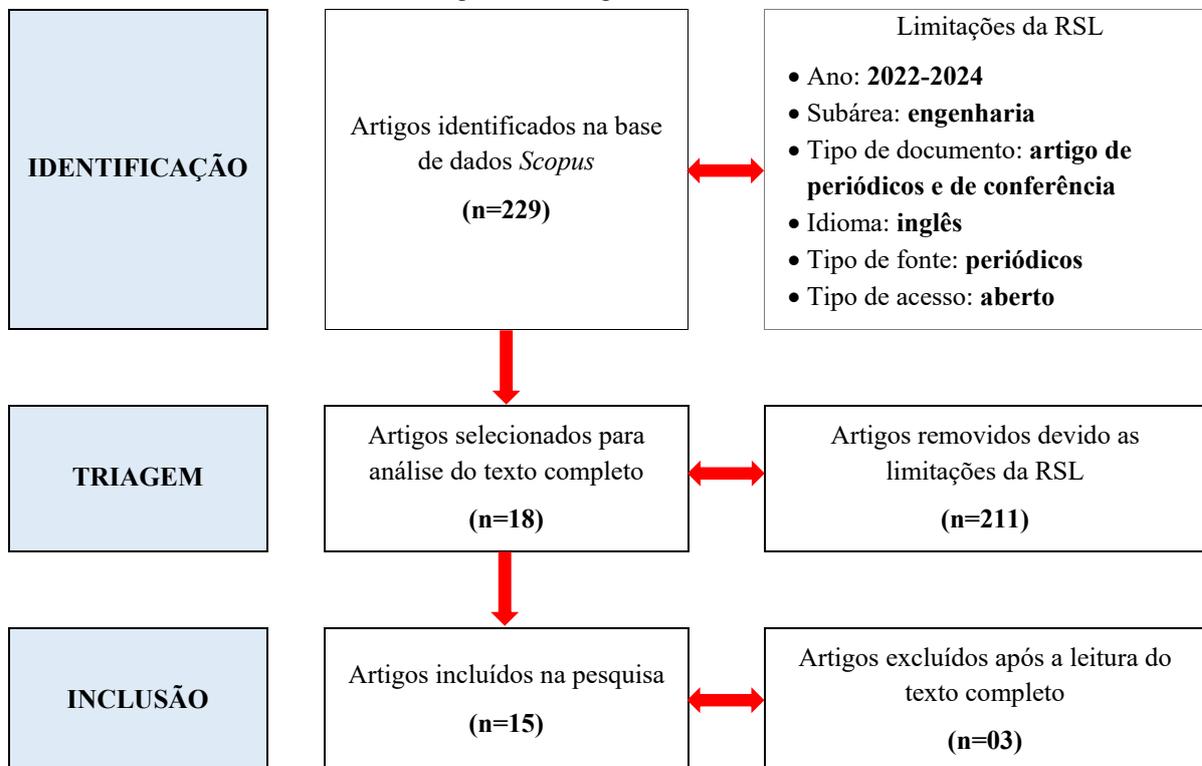
Quadro 2. Resumo do procedimento metodológico da RSL.

FASE DE PLANEJAMENTO	Ferramentas de pesquisa	Entregas
	Plataforma Sucupira da CAPES	Definição da questão
	<i>Scopus</i>	Seleção da base de dados
FASE DE CONDUÇÃO	Utilizando o VOSviewer	Entregas
	Seleção dos dados	Identificação e separação dos conteúdos
	Extração dos dados	Formatação do texto
FASE DE DOCUMENTAÇÃO	Utilizando o Excel e o Word	Entregas
	Síntese dos dados	Atendimento aos objetivos, confecção dos quadros, gráficos e fluxograma, e a redação final do artigo.
	Análise dos dados	
	Sumarização	
	Conclusão	

Fonte: Autores (2024)

APÊNDICE C

Figura 2. Fluxograma PRISMA.



Fonte: Autores (2024)

APÊNDICE D

Quadro 3. Resumo dos artigos incluídos na pesquisa.

Autores	Dados dos artigos
01 Khan <i>et al.</i> (2024)	Propõem um sistema de suporte à decisão que fornece <i>insights</i> e a periodicidade dos principais acidentes que ocorrem na indústria da construção, com a utilização do BIM-4D; e com o Navisworks, <i>software</i> de gestão e compatibilização de projetos BIM, os autores ressaltam a facilidade de verificação da frequências de acidentes de queda com o programa.
02 Tran <i>et al.</i> (2024)	Apresentam uma abordagem paramétrica baseada em BIM para a alocação de câmaras em canteiros de obra, a fim de minimizar a sobreposição de cobertura das câmaras sem deixar de cobrir todas as áreas do canteiro. Os autores afirmam que o posicionamento adequado das câmeras de segurança permitem clareza, cobertura total e agilidade nas tomadas de decisões, devido a minimização da redundância de dados obtidos com a sobreposição de imagens. Tudo isso só é possível devido o emprego da programação de linguagem visual, que permite utilizar imagens na geração de bancos de dados ao invés de textos.
03 Yang <i>et al.</i> (2024)	Abordam um método de sobreposição espaço-temporal para analisar indicadores de avaliação de segurança com o intuito de melhorar o gerenciamento dos riscos em canteiros de obras, com o uso do BIM e do <i>Geographic Information System</i> (GIS). Com a associação dessas tecnologias é possível delinear áreas de segurança e de risco em diferentes etapas da construção, com base no tempo e no espaço, melhorando o gerenciamento nos canteiros de obras.
04 Wang & Chen (2024)	Mostram uma plataforma de gerenciamento de segurança de engenharia civil, com base no BIM, GIS e na <i>Internet of Things</i> (IoT). Ao integrar sistemas de monitoramento em tempo real foi comprovado que a plataforma ajuda a identificar os riscos potenciais precocemente, agilizando nas tomadas de decisão.
05 Tözer <i>et al.</i> (2024)	Trazem um sistema desenvolvido no BIM que permite a identificação de riscos na fase de projeto. Caso um projetista tome uma decisão que possa causar risco, o sistema detecta e alerta sobre a decisão. O estudo conclui dizendo que a maioria dos perigos que causam riscos de queda podem ser identificados na fase de projeto.
06 Yap <i>et al.</i> (2024)	Destacam o BIM, os sistemas de rede de câmeras de segurança, os dispositivos móveis, a IoT e a sinalização digital, como as tecnologias mais importantes para a gestão de segurança. Também ressalta os seus benefícios: maior agilidade no planejamento de segurança, inspeção mais eficaz e otimização na identificação dos riscos.
07 Rashidi Nasab <i>et al.</i> (2023)	Apresentam uma estrutura dinâmica usando o BIM, para a supervisão e avaliação de atividades de construção. Os autores afirmam que a maior contribuição do BIM consiste na avaliação, priorização e visualização dos ambientes.
08 Fernández <i>et al.</i> (2023)	Mostram o potencial da RV para simular ambientes de trabalho imersivo em atividades de perfuração geotécnica, com foco na interação com máquinas. Destacam que a simulação permite que o trabalhador interaja, identifique e se previna de acidentes, devido ao realismo da imersão dos usuários no ambiente de construção favorecido pela tecnologia. Os movimentos realistas que recriam as tarefas facilitam a interação e o aprendizado dos trabalhadores.
09 Tariq <i>et al.</i> (2023)	Propõem um sistema de visualização de cláusulas de segurança usando a interface de programação de aplicativo do Autodesk Revit, utilizando a metodologia BIM. O sistema de gerenciamento de segurança digitalizado consiste em um protótipo que cria um repositório acessível, permanente e com informações objetivas das cláusulas relevantes de diversos documentos, facilitando as tomadas de decisão devido a rapidez nas buscas e a precisão das informações.
10 Feng <i>et al.</i>	Sugerem um modelo de avaliação de risco de edifícios pré-fabricados que pode simular de forma dinâmica o estado de segurança na construção com alertas precoce. O sistema é

	(2023)	baseado em rede neural artificial e no BIM. Os algoritmos permitem aprendizagem e <i>feedbacks</i> da rede neural e das simulações executadas por multi-índices não linear, o que não seria possível com os modelos tradicionais.
11	Collinge <i>et al.</i> (2022)	Apresentam uma ferramenta digital e uma biblioteca de riscos de segurança, com base no BIM, para projetistas. Com essa tecnologia é possível o compartilhamento de informações em um ambiente tridimensional e interativo, o que beneficia o setor da construção com seus dados de saúde e segurança.
12	Torrecilla-García <i>et al.</i> (2022)	Trazem um sistema de suporte à tomada de decisão por meio das tecnologias BIM e gêmeos digitais, que melhoram os resultados de gerenciamento de segurança na indústria da construção. O modelo permite a troca de informações em tempo real com base em análise preditiva, em um ambiente compartilhado, que favorece o desenvolvimento estratégico e proativo de planejamento e gerenciamento de segurança dentro da indústria.
13	Ramos-Hurtado <i>et al.</i> (2022)	Propõem uma metodologia que digitaliza o processo de inspeção de segurança em BIM e a RA como um visualizador 3D com o objetivo de obter uma interface intuitiva. Ressaltam que o sistema facilita as tarefas dos profissionais de segurança por causa da capacidade de coletar dados <i>in loco</i> , da captura de imagens dos equipamentos de segurança em RA e a troca de informações em tempo real.
14	He (2022)	Destacam que o uso do BIM na indústria da construção permitem a “modernização, industrialização, padronização, visualização e inteligência” nos canteiros de obra.
15	Rodrigues <i>et al.</i> (2022)	Mostram a importância de uma metodologia colaborativa e integrada nas “fases de projeto, planejamento, construção e uso”, que visa à prevenção dos riscos na indústria da construção. Para isso a metodologia BIM passa a ser essencial, devido a capacidade de otimização dos processos, a comunicação rápida e digital entre todos os <i>stakeholders</i> e a possibilidade de avaliação de riscos ocupacionais e medidas de segurança.

Fonte: Autores (2024)