

O impacto do BIM no planejamento e gestão da segurança do trabalho na indústria AEC

The BIM impact on work safety planning and management in the AEC industry

El impacto del BIM en la planificación y gestión de la seguridad laboral en la industria AEC

Como citar:

Lucena, Sabrina R. S., da Cruz, Felipe M. & Vasconcelos, Bianca M. (2026). O impacto do BIM no planejamento e gestão da segurança do trabalho na indústria AEC. Revista Gestão & Tecnologia, vol. 26, nº 1, p: 181-208

Sabrina Rayane Silva Lucena, Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE).

<https://orcid.org/0000-0003-2442-3887>

Felipe Mendes da Cruz, Professor Adjunto da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE)

<https://orcid.org/0000-0002-0163-465X>

Bianca Maria Vasconcelos, Professora Adjunta da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE).

<https://orcid.org/0000-0002-5968-9581>

Editor Científico: José Edson Lara
Organização Comitê Científico
Double Blind Review pelo SEER/OJ
Recebido em 20/07/2025
Aprovado em 02/06/2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution – Non-Commercial 3.0 Brazil

Resumo

Objetivo: Sintetizar o cenário atual da aplicação do BIM para gestão da segurança do trabalho nas fases de planejamento e projeto.

Metodologia: Uma revisão sistemática da literatura foi desenvolvida, tendo como base um protocolo de pesquisa e um fluxograma PRISMA.

Originalidade: O trabalho fornece uma classificação dos principais riscos ocupacionais analisados com o emprego do BIM, além de proporcionar um panorama atual dos estudos sobre gestão de segurança do trabalho antes do início da construção, com enfoque no projeto e planejamento.

Resultados: Foi possível observar o emprego de tecnologias de verificação automática de regras, BIM 4D, sistemas de informações geográficas, simulações, tecnologias imersivas e ontologias. Dentre os principais riscos ocupacionais previstos, os riscos de acidentes envolvendo questões de planejamento e layout da construção foram abordados por mais de 40% dos artigos, seguidos de riscos de queda de pessoas, objetos e colisões. A principal limitação da gestão de riscos trata-se da falta de experiência prévia e treinamento dos usuários para desenvolver medidas de segurança e utilizar as tecnologias atuais.

Contribuições teóricas: A previsão de riscos ocupacionais fornece subsídios para priorização de riscos a serem estudados, e a identificação das tecnologias e suas limitações servem como base para otimizações em futuras pesquisas.

Contribuições para a gestão: O trabalho evidencia como o BIM pode auxiliar na tomada de decisões, identificação antecipada de riscos e planejamento eficiente da segurança do trabalho.

Palavras-chave: Modelagem da informação; Prevenção; Construção; Riscos.

Abstract

Objective: To summarize the current scenario of BIM application for occupational safety management in the planning and design phases.

Methodology: A systematic literature review was developed, based on a research protocol and a PRISMA flowchart.

Originality: The work provides a classification of the main occupational risks analyzed with the use of BIM, in addition to providing a current overview of studies on occupational safety management before the start of construction, with a focus on design and planning.

Results: It was possible to observe the use of automatic rule verification technologies, 4D BIM, geographic information systems, simulations, immersive technologies and ontologies. Among the main anticipated occupational risks, the risks of accidents involving construction planning and layout issues were addressed by more than 40% of the articles, followed by risks of falling

people, objects and collisions. The main limitation of risk management is the lack of prior experience and training of users to develop safety measures and use current technologies.

Theoretical contributions: The prediction of occupational risks provides support for prioritizing risks to be studied, and the identification of technologies and their limitations serves as a basis for optimizations in future research.

Contributions to management: The work highlights how BIM can assist in decision-making, early identification of risks and efficient planning of occupational safety.

Keywords: Information modeling; Prevention; Construction; Risks.

Resumen

Objetivo: Resumir el escenario actual de la aplicación del BIM para la gestión de la seguridad laboral en las fases de planificación y diseño.

Metodología: Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura, basada en un protocolo de investigación y un diagrama de flujo PRISMA.

Originalidad: El trabajo proporciona una clasificación de los principales riesgos laborales analizados mediante BIM, además de proporcionar un panorama actual de los estudios sobre gestión de la seguridad laboral antes del inicio de la construcción, con foco en el diseño y la planificación.

Resultados: Se pudo observar el uso de tecnologías de verificación automática de reglas, BIM 4D, sistemas de información geográfica, simulaciones, tecnologías inmersivas y ontologías. Entre los principales riesgos laborales previstos, los riesgos de accidentes relacionados con la planificación y el diseño de la obra fueron abordados en más del 40% de los artículos, seguidos de los riesgos de caída de personas y objetos y de colisiones. La principal limitación de la gestión de riesgos es la falta de experiencia previa y formación de los usuarios para desarrollar medidas de seguridad y utilizar las tecnologías actuales.

Aportes teóricos: La predicción de riesgos laborales proporciona soporte para priorizar los riesgos a estudiar, y la identificación de tecnologías y sus limitaciones sirve como base para optimizaciones en futuras investigaciones.

Contribuciones a la gestión: El trabajo destaca cómo BIM puede ayudar en la toma de decisiones, la identificación temprana de riesgos y la planificación eficiente de la seguridad en el trabajo.

Palabras clave: Modelado de información; Prevención; Construcción; Riesgos.

1. Introdução

O setor da construção civil é amplamente reconhecido como um dos mais perigosos do mundo, sendo responsável por aproximadamente 20% das fatalidades laborais nos Estados Unidos (Behm, 2005; Golabchi *et al.*, 2018; Hossain *et al.*, 2018; Getuli *et al.*, 2020; Johansen *et al.*, 2023). As significativas perdas socioeconômicas e os riscos constantes à saúde e segurança dos trabalhadores evidenciam a necessidade de aprimoramento das práticas de gestão na construção civil, tornando esse aspecto um foco central para a mitigação de acidentes e a melhoria das condições de trabalho (Pinto *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2019).

A adoção de medidas para melhorar a segurança pode ocorrer tanto na fase de pré-construção quanto durante a execução da obra. No entanto, destaca-se que a implementação de abordagens preventivas é fundamental para a mitigação de riscos ao longo das etapas de construção, operação e manutenção, contribuindo para a redução de incidentes e o aumento da segurança no ambiente de trabalho (Collinge *et al.*, 2022).

Recentemente foram desenvolvidos alguns estudos para implementação de *Prevention Through Design* (PTD), também conhecido como *Design For Safety* (DFS) e *Construction Hazard Prevention Through Design* (CHPTD) que focam na gestão da segurança no início do projeto e processos de projeto, tais como: Lu *et al.* (2021) implementaram o conceito de CHPTD por meio de um modelo quantitativo de avaliação de risco de segurança da construção vinculada ao BIM e desenvolvido no Autodesk Revit; Qi *et al.* (2014) desenvolveram uma ferramenta de prevenção através do design (PTD) baseada em software de computador visando a verificação de conformidades.

O ciclo de vida dos projetos começa com as fases de projeto e planejamento, os quais são responsáveis por determinar os métodos construtivos que serão utilizados e as características permanentes da construção, influenciando no desempenho da segurança do trabalho (Yuan *et al.*, 2016). A mitigação de perigos nas fases iniciais do projeto é essencial para impedir seu aparecimento no local de trabalho, uma vez que, à medida que o projeto avança, torna-se mais difícil eliminá-los (Zhang *et al.*, 2013). O planejamento da segurança na construção consiste em identificar os potenciais perigos e determinar as melhores medidas de resolução, visando a

criação de um ambiente de trabalho seguro, eficiente e livre de incidentes (Zhang, Boukamp & Teizer, 2015).

A natureza dinâmica da construção civil e seus projetos resulta em processos caracterizados pela rotatividade constante das equipes, exposição a condições climáticas e um elevado número de trabalhadores temporários e sem qualificação, o que exige uma abordagem distinta para a identificação de perigos e riscos. Essa realidade torna fundamental a adoção de estratégias específicas para o gerenciamento eficaz da segurança no ambiente de trabalho (Rozenfeld *et al.*, 2010; Dong *et al.*, 2018). As técnicas tradicionais se limitam ao controle estático, execução manual e gerenciamento de risco fragmentado e de difícil interação entre todas as partes interessadas e todas as disciplinas de um projeto (Badran *et al.*, 2020).

A tecnologia tem potencial para influenciar positivamente no planejamento da segurança e na tomada de decisões entre todas as partes envolvidas. Tecnologias de informação e comunicação, como o Building Information Modeling (BIM), Virtual Design and Construction (VDC, Projeto e Construção Virtual), e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são algumas das abordagens atuais utilizadas na Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) para identificação de riscos (Zhang *et al.*, 2013).

Conforme aborda Sacks *et al.* (2018), o BIM surge como uma nova forma de visualização dos edifícios, trazendo mais eficiência e tecnologia à forma como os processos são realizados, pois através dele, informações detalhadas são inseridas em cada componente do projeto que se relacionam entre si dentro do modelo. Há ainda a possibilidade do planejamento da construção usando modelos em 4D, simulando a construção em qualquer etapa e tornando possível identificar fontes de potenciais problemas como, por exemplo, de equipe, local, equipamentos e de segurança.

A utilização do BIM uma base confiável para decisões, integrando informações ao longo do ciclo de vida do projeto. Sua adoção nas fases de projeto e planejamento permite um gerenciamento de construções e segurança de forma integrada, melhorando o reconhecimento e a resolução de riscos (Zhang *et al.*, 2015; Moshtaghian *et al.*, 2020; Rodrigues *et al.*, 2022). Além de ter grande foco na prevenção através do projeto, o BIM possui também versatilidade

na gestão de segurança quando combinado com outras tecnologias (Rodrigues & Vasconcelos, 2024).

Sendo assim, este artigo tem como objetivo identificar, compilar e sintetizar os atuais esforços de uso do BIM na fase de planejamento e projeto com foco na gestão de riscos de acidentes.

2. Referencial teórico

Nos últimos anos, o modelo 3D do BIM foi largamente disseminado na indústria AEC, permitindo a colaboração entre as partes interessadas, melhorando os processos de projeto e construção, e facilitando o controle visual durante todo o ciclo de vida do empreendimento. Para aumentar ainda mais o potencial do BIM, outras atividades foram sendo incluídas no modelo 3D, criando extensões contendo informações de projeto que se relacionam com cada estágio do ciclo de vida de uma construção (Charef, Alaka & Emmitt, 2018).

Embora o BIM possa ser utilizado apenas no processo de desenvolvimento da construção como uma ferramenta sistemática de gerenciamento de risco, também está sendo implementado como uma plataforma geradora de dados que permite outras tecnologias relacionadas ao BIM para análises de risco adicionais e interativas (Koutamanis, 2020).

Revisões da literatura anteriores abordaram o desenvolvimento de tecnologias integradas ao BIM de forma parcial (Zou, Kiviniemi & Jones, 2017). Por exemplo, Olugboyega & Windapo (2019) abordaram as dimensões e componentes da cultura de segurança da construção e como as tecnologias BIM melhoram a maturidade dos trabalhadores com relação à segurança na construção. Martínez-Aires *et al.* (2018) apresentaram as principais áreas de aplicação do BIM para gerenciamento de segurança. Akram *et al.* (2019) realizaram uma análise bibliométrica e cienciométrica para identificar os domínios e características da implantação do BIM para segurança da construção. Muzafar (2021) revisaram a integração da modelagem de informações para melhorar a saúde e segurança da construção, e as tecnologias digitais na construção, operação e manutenção.

Em virtude da necessidade de evoluir os estudos da gestão de riscos antes do início da construção, com enfoque no projeto e planejamento, esta revisão sistemática da literatura (RSL)

apresenta um panorama das tecnologias empregadas atualmente atreladas a sua eficiência, desafios e vantagens dessa adoção. Além disso, serão identificados e classificados os principais riscos ocupacionais analisados com o emprego do BIM, proporcionando um direcionamento para futuros esforços de pesquisa.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento desta RSL, primeiro foi realizado o planejamento da pesquisa, através da elaboração de um Protocolo de Pesquisa, de forma a organizar e centralizar a temática a ser estudada. Em seguida segue-se o fluxograma conhecido como PRISMA para filtrar a pesquisa desde a identificação, seleção, elegibilidade até a final inclusão dos artigos escolhidos. Por fim, é realizada a análise qualitativa dos estudos selecionados de modo a validar informações, gerar os gráficos de resultados e analisar o conteúdo obtido (fase analítica).

3.1 Descrição dos critérios de pesquisa e seleção das bases de dados

A pesquisa é centralizada nos setores de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), não considerando os processos de Operação e Manutenção, visto que aborda apenas a utilização do BIM como garantia de segurança do trabalho antes do início da construção, no contexto de planejamento e prevenção de acidentes.

As bases de dados foram escolhidas de acordo com a área de pesquisa definida (setor AEC), qualidade (revisão por pares), relevância acadêmica internacional. Assim foram utilizadas as seguintes bases de dados para essa RSL: Science Direct; Scopus; Engineering Village; Web of Science; e Taylor & Francis Online.

As strings de busca adaptadas para cada base de dados pesquisada podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1

String de busca adaptada por base

Base de dados	Strings de busca
Science Direct	("construction" OR "architecture" OR "AEC") AND ("BIM" OR "building information modeling") AND ("project" OR "planning") AND ("safety risk" OR "construction safety")
Scopus	("construction" OR "architecture" OR "AEC") AND ("BIM" OR "Building information modeling" OR "building information model" OR "building information modelling") AND ("project" OR "planning") AND ("safety" OR "risk assessment" OR "risk management")
Engineering Village	("construction" OR "architecture" OR "AEC") AND ("BIM" OR "Building information modeling" OR "building information model" OR "building information modelling") AND ("project" OR "planning") AND ("safety" OR "risk assessment" OR "risk management")
Web Of Science	("construction" OR "architecture" OR "AEC") AND ("BIM" OR "building information modeling" OR "building information model" OR "building information modelling") AND ("project" OR "planning") AND ("risk assessment" OR "construction safety")
Taylor & Francis Online	("construction" OR "architecture" OR "AEC") AND ("BIM" OR "building information modeling" OR "building information model" OR "building information modelling") AND ("project" OR "planning" OR "design") AND ("risk management" OR "construction safety")

Das bases de dados foram obtidos 2328 artigos os quais foram filtrados para o intervalo de 2013-2023, abrangendo os estudos publicados em inglês ou português com subárea na engenharia. Artigos de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) não foram considerados para a análise, pois este trabalho já realiza sua própria RSL sobre o uso do BIM para planejamento e prevenção de segurança do trabalho, assim também desconsiderando estudos que abrangessem a aplicação das tecnologias apenas na nas fases de execução da obra ou monitoramento desta. Ainda, artigos que focavam apenas em questionários não adentram no escopo desta revisão pois não fornecem dados de casos aplicados.

3.2 Análise do conteúdo

Os artigos foram analisados de acordo com os questionamentos apresentados na Tabela 2, obtendo assim os resultados desta pesquisa.

Tabela 2

Perguntas de pesquisa

Pergunta	Descrição
P1	Quais os desafios enfrentados pelos profissionais na identificação de riscos através do BIM?
P2	Quais as tecnologias e/ou metodologias empregadas para a identificação de riscos em projetos e como elas se mostram eficientes?
P3	Quais os principais riscos ocupacionais que podem ser previstos e evitados através do emprego do BIM?

Os desafios de implementação do BIM são avaliados segundo as limitações e lacunas de pesquisa apresentadas em cada trabalho, ou ainda as dificuldades da aplicação das tecnologias empregadas. É feito um levantamento geral das principais tecnologias empregadas atualmente e como elas se mostram eficientes e inovadoras para identificar os riscos de projeto e planejamento.

Por fim, é feita a análise dos principais riscos ocupacionais identificados e evitados pela gestão de segurança baseada em BIM, fornecendo subsídios para priorização dos riscos a serem estudados em futuras pesquisas. Para isso, baseou-se na Norma Regulamentadora 9 (NR-9) e a Portaria 25/1994 do Ministério da Economia, Secretaria Especial de Previdência e Trabalho, o qual classificam os riscos de segurança do trabalho em cinco categorias, conforme tabela abaixo. Sendo eles: físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e acidentais.

4. Resultados e discussões

A seleção dos estudos seguiu o modelo esquematizado de um Fluxograma PRISMA, mostrado na Figura 1.

Assim, dos 2328 artigos encontrados apenas com a strings de busca adaptadas para cada base, sobraram-se 789 depois da aplicação dos filtros de linguagem, intervalo de data, subárea e tipo de documento. Em seguida, 156 artigos foram removidos por estarem duplicados, restando 633 documentos para leitura de título e posterior leitura de resumos. A partir dos critérios de seleção e exclusão explicados anteriormente, 88 artigos foram lidos em sua íntegra e 62 foram incluídos para a etapa de análise e obtenção dos resultados.

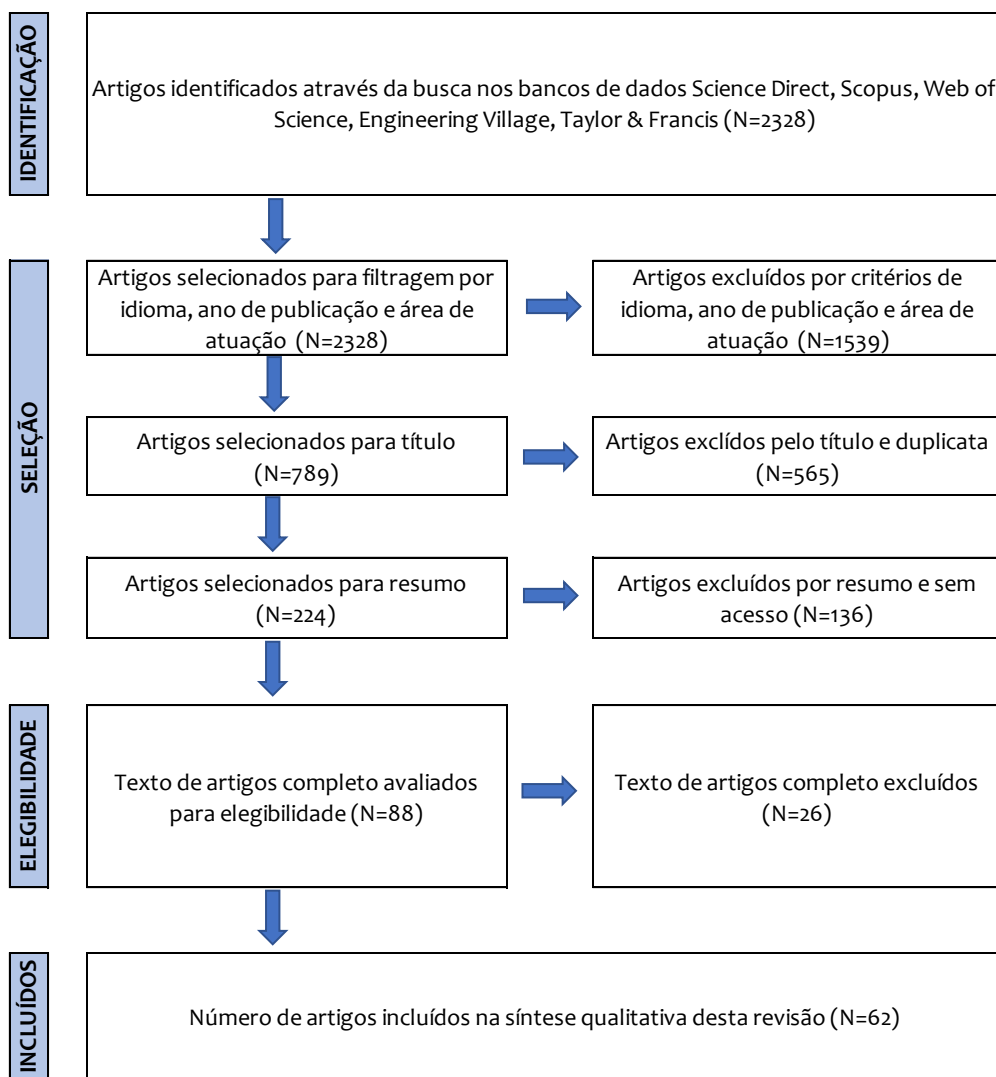


Figura 1. Fluxograma PRISMA

Os artigos seguiram os critérios de filtro e intervalo de data, considerando o período de 2013-2023. A Figura 2 apresenta uma relação dos artigos de acordo com o ano de publicação, no qual mais de 20% destes datavam do ano de 2022. Como pode-se perceber também, ao longo dos anos o número de pesquisas que abordava o BIM para gestão de riscos cresceu

significativamente devido aos maiores esforços da indústria AEC para implementar tecnologias inovadoras e manter sua competitividade no mercado.

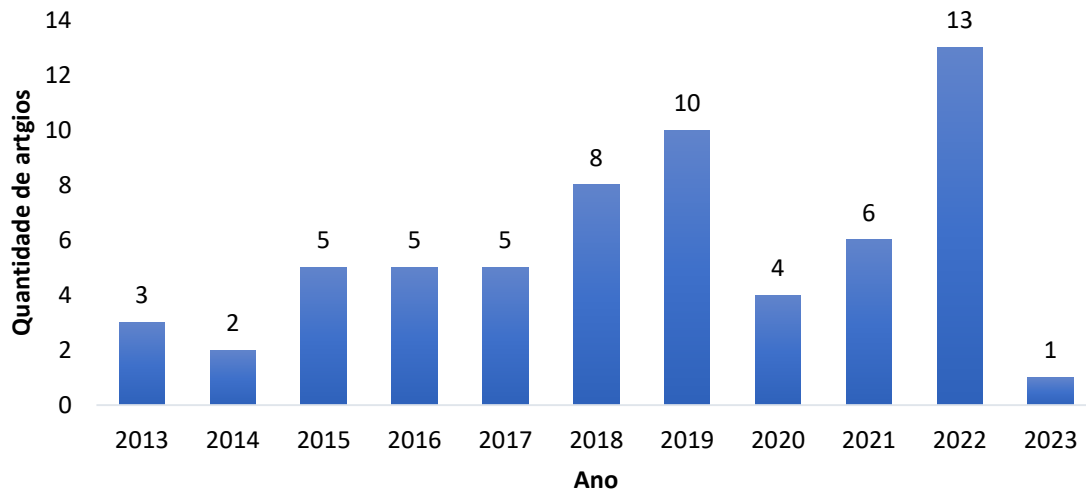


Figura 2. Distribuição dos artigos por ano

A relação dos 62 artigos analisados pode ser visualizada no Apêndice A, identificando a tecnologia principal empregada por cada artigo e o risco ocupacional analisado na previsão e planejamento dos riscos.

4.1 Levantamento das tecnologias BIM

A integração do BIM com outras tecnologias foi investigada nos artigos e pode ser visualizada na Figura 3.

São apresentadas 6 principais tecnologias BIM: verificações automáticas de regras, ontologia, BIM 4D, tecnologias imersivas, simulações, sistemas de informações geográficas, e códigos computacionais no geral utilizados com as ferramentas citadas. Em muitos casos, as

tecnologias apresentadas foram utilizadas conjuntamente para obtenção dos resultados dos artigos estudados

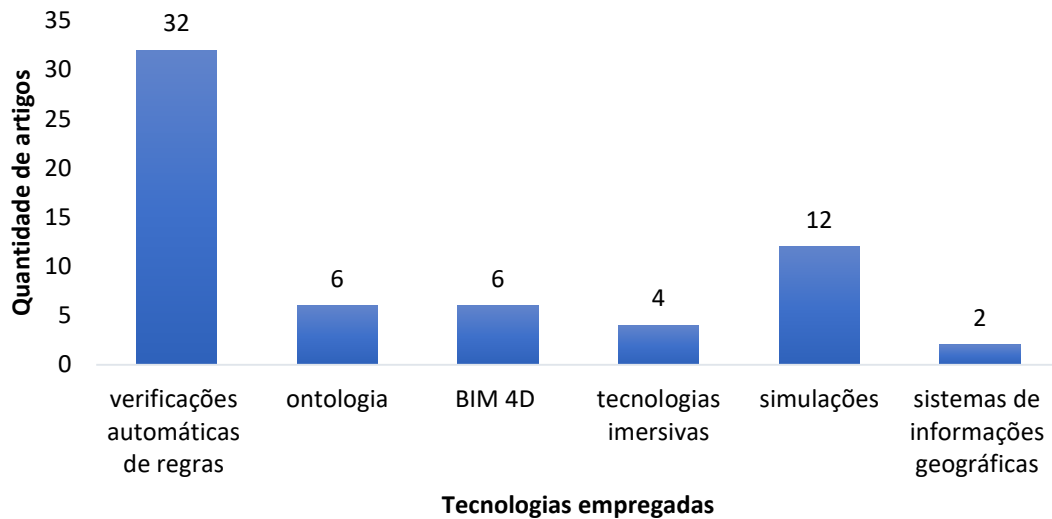


Figura 3. Levantamento das tecnologias empregadas

A verificação automática de regras foi a mais empregada pelos pesquisadores, sendo o foco principal de 32 artigos. Para sua implementação, primeiro é preciso a extração das informações necessárias para criação dos códigos de conformidade e seleção de regras que serão analisadas o modelo (Luo & Gong, 2015). Após a identificação os perigos, é possível projetar os equipamentos de segurança preventiva, estimando os custos e cronograma de construção (Melzner *et al.*, 2013). Essa verificação baseada em BIM permitiu a melhoria da eficiência e precisão na verificação que antes era feita de forma manual.

A utilização de plug-ins atrelados a inspeção automática de conformidade de regras permitiu o envio de feedbacks e de medidas de controle aos projetistas através do aparecimento de janelas de alertas pop-up (Yuan *et al.*, 2019).

Os sistemas baseados em conhecimento, ou ontologias, aproximam os domínios de conhecimento dos pesquisadores aos dos profissionais da construção para abordagens automatizadas de análise de riscos (Johansen, Schultz & Teizer, 2023). Por meio desses sistemas, pode-se analisar a segurança em questões de localidade, elementos envolvidos, atividades, riscos e planos de tratamento (Shen *et al.*, 2022).

O BIM 4D foi a base principal base para o desenvolvimento das outras metodologias como as de verificação de regras e simulações. A modelagem em quatro dimensões aborda tanto o modelo 3D como o tempo do projeto, permitindo observar a evolução do empreendimento em qualquer período e de vários pontos de vista, proporcionando melhores resultados quanto ao aproveitamento físico do espaço de canteiros (Rodrigues, Baptista & Pinto, 2022) e a análise em tempo real de conflitos de projeto, do fluxo de trabalho, equipamentos e instalações provisórias na obra (Sloot, Heutink & Voordijk, 2019).

As simulações são voltadas para casos reais de atividades da construção através de uma perspectiva física ou representação virtual de diferentes cenários de operações, refletindo de forma confiável o projeto e facilitando a avaliação de riscos ergonômicos e permitindo estratégias de treinamento dos trabalhadores (Golabchi, Han & Abourizk, 2018).

As tecnologias imersivas, em especial a realidade virtual, também são uma forma de simular um ambiente de visualização 3D (Getuli *et al.*, 2020) capaz de detectar interferências físicas. Além disso, proporciona um local interativo de análise multidisciplinar e dinâmica, diferentes do projeto 2D que é estático e de demorada análise. Essa ferramenta aumenta a confiabilidade e otimização de layouts (Guo, Li & Li, 2013), visto que integra as experiências

e conhecimento prévio dos usuários e recursos gráficos e computacionais criando cenários quase reais (Zhang & Pan, 2021).

Os sistemas de informação geográfica são utilizados principalmente para o estudo de riscos geológicos, ambientais, ou espacial como um todo, sendo útil na visualização da variabilidade espacial do risco e de seu impacto nas instalações (Abune'meh *et al.*, 2016). Ainda, modelos geotécnicos podem fornecer informações sobre os tipos de solos, propriedades, volumes das camadas e profundidade, permitindo planejamento seguro da construção com as melhores práticas construtivas (Khan, Park & Seo, 2021).

4.2 Previsão de riscos

A partir das diferentes tecnologias empregadas, cada artigo focou na previsão de diferentes tipos de riscos ocupacionais. O resumo da previsão de riscos nos 62 artigos pode ser verificado na Figura 4.

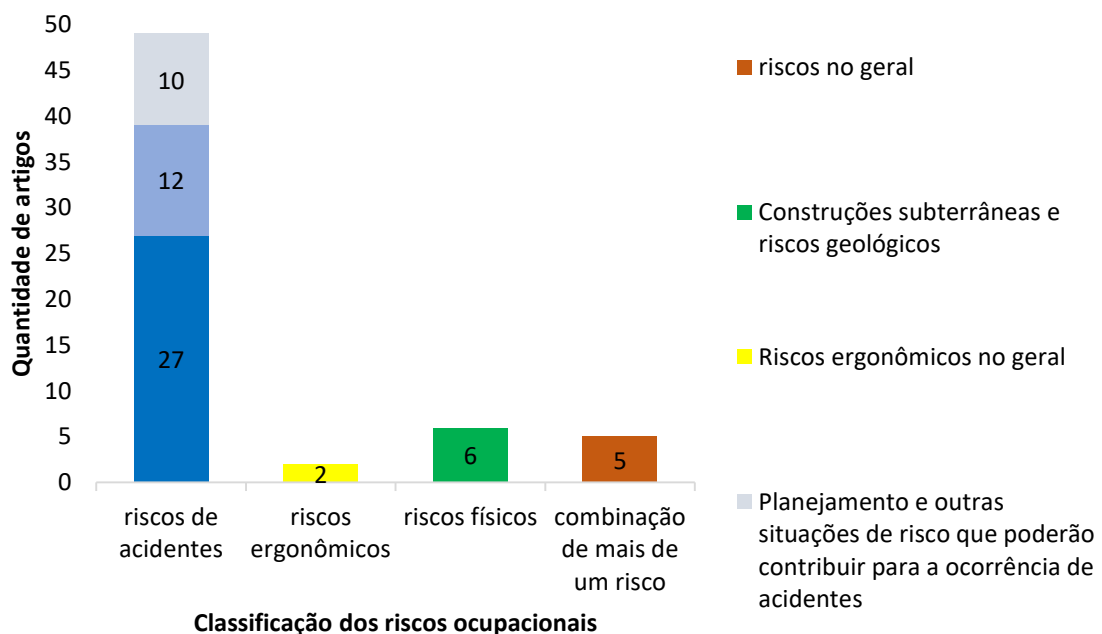


Figura 4. Previsão de riscos

Dos 62 estudos, os riscos de acidentes foram o principal foco de análise nos últimos anos, identificados em 49 dos artigos, e divididos em 3 áreas: arranjo físico inadequado, queda de pessoas e objetos e colisões, e planejamento e outras situações de riscos.

Os problemas decorrentes de layout e arranjo físico inadequado representaram mais de 40% das previsões. Dentre os exemplos, tem-se o planejamento de canteiros, questões espaço-temporal, riscos críticos, casos gerais de acidentes, fontes perigosas, lesões e obras como pontes e rodovias. Estes estudos eram realizados principalmente através de verificação automática de regras e emprego do BIM 4D. Os riscos de queda de pessoas e objetos ou colisões configuram quase 20% dos casos. E os riscos de planejamentos e demais situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes, como em casos de fundações profundas (Luo & Gong, 2015), representaram cerca de 16% das previsões.

O segundo grupo, os riscos físicos, estiveram presentes em estudos de construções subterrâneas, como metrô (Chen & Liu, 2015; Dong *et al.*, 2018; Xie *et al.*, 2022;), túneis (Providakis, Rogers & Chapman, 2019; Guo & Zhang, 2021), e também em riscos geológicos, com base na integração do BIM e SIG para modelagem de propriedades geotécnicas e zonas de construção seguras com base no tipo de solo (Khan, Park & Seo, 2021).

Por último, os riscos ergonômicos foram alvo de 2 artigos, que avaliaram diferentes cenários uma operação em termos de produtividade e segurança, proporcionando feedbacks durante a simulação das atividades (Getuli *et al.*, 2020) e treinamento dos trabalhadores (Golabchi, Han & Abourizk, 2018).

Houveram ainda 5 artigos que exploraram uma combinação dos riscos citados anteriormente, a partir de uma verificação geral de regras (Li, Yu & Liu, 2018; Kim, Cho & Kim, 2018a; Khan *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2022).

Não foram identificados artigos que analisassem riscos químicos e biológicos, de eletrocussão, ou em locais de trabalho em espaço confinado. Além disso, todos os riscos eficientemente analisados consideraram o estudo de um único caso específico de aplicação. A análise dos riscos de queda de pessoas e objetos ou colisões, como se mostraram de mais fácil previsão, em muitos casos serviram como ponto fundamental para testar as metodologias empregadas para posterior abordagem dos demais riscos envolvidos durante a construção.

4.3 Limitações

Embora comprovada a eficiência da aplicação do BIM para gerenciamento de riscos de segurança, as diferentes metodologias utilizadas também apresentaram limitações quanto ao seu uso na indústria AEC.

A fase de projeto e planejamento da construção é um processo dinâmico e de muitas modificações até que se chegue no modelo final, assim nem todas as questões de riscos podem ser analisadas, pois algumas são resultados de erros humanos (Melzner *et al.*, 2013; Golabchi, Han & Abourizk, 2018), e as soluções dependem ainda do conhecimento do projetista para que se adote à solução ótima mais viável e não apenas a que representa regras com requisitos mínimos de viabilidade de segurança (Zhang *et al.*, 2015; Ji & Leite, 2018).

Um fator primordial para o gerenciamento de risco trata-se da falta de experiência prévia e treinamento para identificar perigos e fundamentar medidas de segurança ou de apenas utilizar os softwares, como nos casos de aplicação de Realidade Virtual e segurança, sistemas de verificação, base de conhecimento PTD (Tixier *et al.*, 2016; Peng & Chua, 2017; Getuli *et al.*, 2020; Caldart & Scheer, 2022; Rodrigues, Baptista & Pinto, 2022). Por exemplo, o reconhecimento de risco de segurança em construções subterrâneas ainda é escasso e os

modelos raramente adotam funções de aprendizagem e os dados para análise nem sempre são confiáveis (Li, Yu & Liu, 2018).

Como a maioria dos estudos leva em consideração um estudo de caso específico, ainda é preciso a análise de ambientes simulados com complexidades adicionais. Em muitos casos, os sistemas de informação levam em consideração elementos estáticos da construção, não analisando os riscos adicionais que podem surgir na sequência e não envolvendo uma gestão de riscos com trabalho colaborativo (Melzner *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019; Getuli *et al.*, 2020; Zhang & Pan, 2021; Xiahou *et al.*, 2022; Johansen, Schultz & Teizer, 2023).

A identificação de riscos geológicos, como subsidência e colapso do solo, ainda se apresenta com incertezas das propriedades do solo na simulação e dificuldade da conformidade de regras necessárias para camadas distintas de solo (Khan *et al.*, 2019; Xie *et al.*, 2022).

No caso das verificações de regras de segurança, é necessário um estabelecimento contínuo da biblioteca com formulação de códigos relevantes que solucionem casos mais complexos e de diferentes padrões, como por exemplo, ao analisar fundações profundas (Luo & Gong, 2015; Hossain *et al.*, 2018; Rodrigues, Antunes & Matos, 2021). Ainda há também um esforço expressivo para conversão manual dos regulamentos de segurança em um formato que seja legível para a linguagem da ferramenta computacional utilizada. As modificações no modelo afetam o resultado do sistema de verificação de regras que precisa ser reiniciado a cada mudança (Melzner *et al.*, 2013; Xiahou *et al.*, 2022). Questões de custo e alto consumo de tempo necessitam de mais foco para uma gestão de risco eficiente (Peng & Chua, 2017; Khan, Park & Seo, 2021; Andrich *et al.*, 2022; Yasser *et al.*, 2022).

5. Conclusões

No últimos anos o BIM vem sendo implementado mais frequentemente na indústria AEC visando contextos preventivos de gerenciamento de riscos durante a fase de projeto e planejamento, sendo alvo de diversas pesquisas. Os métodos tradicionais não mais são suficientes para a eficiente e rápida análise de gestão, necessitando do BIM como solução integrada para garantir a segurança e saúde do trabalhador.

Este artigo realizou uma revisão sistemática da literatura acerca do cenário atual dos esforços de pesquisa que utilizam o BIM para gestão de riscos, apresentando os principais riscos evitados, levantamento das tecnologias empregadas e suas eficiências, limitações e indicação de necessidades futuras.

O BIM é empregado como uma nova forma de visualização do modelo que pode ser usada para evitar acidentes, visto que os riscos da atividade podem ser visualizados quando um modelo 3D é integrado, tornando o gerenciamento de segurança mais eficaz e preciso do que o método tradicional, melhorando a comunicação de segurança entre as diferentes partes envolvidas no projeto e reduzindo os esforços manuais propensos a erros.

Como resultado da análise, as principais tecnologias empregadas atualmente incluem verificações automáticas de regras, ontologia, BIM 4D, tecnologias imersivas, simulações e sistemas de informações geográficas. A partir delas são analisados, principalmente, riscos de planejamento geral e layout e riscos de queda de pessoas, objetos ou colisões, sendo os riscos ambientais identificados em menor escala.

Os artigos mostraram que há uma expressiva falta de experiência e treinamento dos projetistas com relação aos quesitos de segurança dos projetos e da utilização dos softwares de aplicação do BIM e códigos computacionais.

A implementação em maior escala do BIM para gerenciamento de segurança ainda é necessária, considerando projetos de construção de diferentes características (dimensões, tecnologia, complexidade) e que envolva outros aspectos de riscos e diferentes atividades do planejamento local. Utilizar os dados de acidentes ocupacionais de diferentes atividades da construção pode ajudar na análise mais aprofundada.

Sendo assim, a utilização da gestão de risco baseada em BIM é eficiente e tende a avançar cada vez mais na indústria AEC, embora necessite de mais estudo e treinamento para obtenção de subsídios confiáveis para verificação de segurança e implementação correta de medidas alternativas e viáveis de planejamento e de desenvolvimento dos projetos.

Nesse quesito, alguns pontos que necessitam de pesquisa futura englobam: análise de uma gama maior de riscos; análise de trabalhos mais complexos, como localização automática de caminhos de acesso em trabalhos confinados; inclusão automatizada de objetos no modelo; utilização abrangente de inteligência artificial e programação visual ou outras tecnologias; aplicação multidisciplinar das ferramentas e comparação dos resultados com projetos semelhantes.

Referências

- Abune'meh, M., El Meouche, R., Hijaze, I., Mebarki, A., & Shahrour, I. (2016). Optimal construction site layout based on risk spatial variability. *Automation in Construction*, 70, 167-177. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.014>

- Akram, R., Thaheem, M. J., Nasir, A. R., Ali, T. H., & Khan, S. (2019). Exploring the role of building information modeling in construction safety through science mapping. *Safety Science*, 120, 456-470. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.07.036>
- Andrich, W., Daniotti, B., Pavan, A., & Mirarchi, C. (2022). Check and validation of building information models in detailed design phase: A check flow to pave the way for BIM based renovation and construction processes. *Buildings*, 12(2), 154. <https://doi.org/10.3390/buildings12020154>
- Badran, D., Alzubaidi, R., & Venkatachalam, S. (2020). BIM based risk management for design bid build (DBB) design process in the United Arab Emirates: a conceptual framework. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 11, 1339-1361. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-00993-w>
- Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Safety Science*, 43(8), 589-611. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002>
- Caldart, C. W., & Scheer, S. (2022). Construction site design planning using 4D BIM modeling. *Gestão & Produção*, 29. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e5312>
- Charef, R., Alaka, H., & Emmitt, S. (2018). Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. *Journal of Building Engineering*, 19, 242-257. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>
- Chen, D., Zhou, J., Suan, P., & Zhang, J. (2022). Integrating knowledge management and BIM for safety risk identification of deep foundation pit construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(8). <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2021-0934>
- Chen, F., & Liu, Y. (2015). Innovation performance study on the construction safety of urban subway engineering based on bayesian network: a case study of bim innovation project. *Journal of Applied Science and Engineering*, 18(3). <https://doi.org/10.6180/jase.2015.18.3.03>
- Chen, F., Wang, H., Xu, G., Ji, H., Ding, S., & Wei, Y. (2020). Data-driven safety enhancing strategies for risk networks in construction engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106806>
- Choe, S., & Leite, F. (2017). Construction safety planning: Site-specific temporal and spatial information integration. *Automation in Construction*, 84, 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.007>
- Collado-Mariscal, D., Cortés-Pérez, J. P., Cortés-Pérez, A., & Cuevas-Murillo, A. (2022). Proposal for the Integration of Health and Safety into the Design of Road Projects with BIM. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings12101753>

- Collinge, W. H., Farghaly, K., Mosleh, M. H., Manu, P., Cheung, C. M., & Osorio-Sandoval, C. A. (2022). BIM-based construction safety risk library. *Automation in Construction*, 141, 104391. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104391>
- Deng, L., Zhong, M., Liao, L., Peng, L., & Lai, S. (2019). Research on safety management application of dangerous sources in engineering construction based on bim technology. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2019/7450426>
- Dong, C., Wang, F., Li, H., Ding, L., & Luo, H. (2018). Knowledge dynamics-integrated map as a blueprint for system development: Applications to safety risk management in Wuhan metro project. *Automation in Construction*, 93, 112-122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.014>
- Farghaly, K., Soman, R. K., Collinge, W., Mosleh, M. H., Manu, P., & Cheung, C. M. (2022). Construction safety ontology development and alignment with industry foundation classes (IFC). *Journal of Information Technology in Construction*, 27, 94-108. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.005>
- Getuli, V., Capone, P., Bruttini, A., & Isaac, S. (2020). BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. *Automation in Construction*, 114, 103160. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103160>
- Getuli, V., Ventura, S. M., Capone, P., & Ciribini, A. L. C. (2017). BIM-based code checking for construction health and safety. *Procedia Engineering*, 196, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.224>
- Golabchi, A., Han, S., & Abourizk, S. (2018). A simulation and visualization-based framework of labor efficiency and safety analysis for prevention through design and planning. *Automation in Construction*, 96, 310-323. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.001>
- Guo, H. L., Li, H., & Li, V (2013). VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework. *Automation in Construction*, 34, 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- Guo, K., & Zhang, L. (2021). Multi-source information fusion for safety risk assessment in underground tunnels. *Knowledge-Based Systems*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107210>
- Hare, B., Kumar, N., & Campbell, J. (2020). Impact of a multi-media digital tool on identifying construction hazards under the UK construction design and management regulations. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 482-499. <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2020.028>
- Herzanita, A., Latief, Y., & Lestari, F. (2022). The application of BIM-based OHSMS information systems to improve safety performance. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 12(1), 31-38. <https://doi.org/10.18280/ijssse.120104>

- Hongling, G., Yantao, Y., Weisheng, Z., & Yan, L. (2016). BIM and safety rules based automated identification of unsafe design factors in construction. *Procedia Engineering*, 164, 467-472. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.646>
- Hossain, Md. A., Abbott, E. L. S., Chua, D. K. H., Qui, N. T., & Goh, Y. M. (2018). Design-for-Safety knowledge library for BIM-integrated safety risk reviews. *Automation in Construction*, 94, 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.010>
- Hossain, Md. M., & Ahmed, S. (2019). Developing an automated safety checking system using BIM: a case study in the Bangladeshi construction industry. *International Journal of Construction Management*, 22(7), 1206-1224. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1686833>
- Ji, Y., & Leite, F. (2018). Automated tower crane planning: leveraging 4-dimensional BIM and rule-based checking. *Automation in Construction*, 93, 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.003>
- Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. (2019). Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11). <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2018-0379>
- Johansen, K. W., Schultz, C., & Teizer, J. (2023). Hazard ontology and 4D benchmark model for facilitation of automated construction safety requirement analysis. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. <https://doi.org/10.1111/mice.12988>
- Khan, N., Ali, A. K., Skibniewski, M. J., Lee, D. Y., & Park, C. (2019). Excavation safety modeling approach using BIM and VPL. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2019/1515808>
- Khan, M. S., Park, J., & Seo, J. (2021). Geotechnical property modeling and construction safety zoning based on GIS and BIM integration. *Applied Sciences*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094004>
- Kim, H., Lee, H.-S., Park, M., Chung, B., & Hwang, S. (2015). Information Retrieval Framework for hazard identification in construction. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000340)
- Kim, K., Cho, Y., & Zhang, S. (2016). Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM. *Automation in Construction*, 70, 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>
- Kim, K., Cho, Y., & Kim, K. (2018a). BIM-driven automated decision support system for safety planning of temporary structures. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001519](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001519)

- Kim, K., Cho, Y., & Kim, K. (2018b). BIM-based decision-making framework for scaffolding planning. *Journal of Management in Engineering*, 34(6). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000656](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000656)
- Kim, K., & Teizer, J. (2014). Automatic design and planning of scaffolding systems using building information modeling. *Advanced Engineering Informatics*, 28(1), 66-80. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.12.002>
- Koutamanis, A. (2020). Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions?. *Automation in Construction*, 114, 103153. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103153>
- Li, B., Schultz, C., Teizer, J., Golovina, O., & Melzner, J. (2022). Towards a unifying domain model of construction safety, health and well-being: SafeConDM. *Advanced Engineering Informatics*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101487>
- Li, M., Yu, M., Liu, P. (2018). An automated safety risk recognition mechanism for underground construction at the pre-construction stage based on BIM. *Automation in Construction*, 91, 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.013>
- Lu, Y., Gong, P., Tang, Y., Sun, S., & Li, Q. (2021). BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. *Automation in Construction*, 124. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103553>
- Luo, H., & Gong, P. (2015). A BIM-based code compliance checking process of deep foundation construction plans. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 79, 549-576. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0120-z>
- Martínez-Aires, M. D., López-Alonso, M., & Martínez-Rojas, M. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety Science*, 101, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.015>
- Marzouk, M., & Al Daour, I. (2018). Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. *Safety Science*, 109, 174-185. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023>
- Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J., & Bargstadt, H.-J. (2013). A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. *Construction Management and Economics*, 31(6), 661-674. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>
- Moshtaghian, F., Golabchi, M., & Noorzai, E. (2020). A framework to dynamic identification of project risks. *Smart and Sustainable Built Environment*, 9(4), 375-393. <https://doi.org/10.1108/SASBE-09-2019-0123>

- Muzafar, M. (2021). Building information modelling to mitigate the health and safety risks associated with the construction industry: a review. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(4), 1087-1095. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1689719>
- Olugboyega, O., & Windapo, A. (2019). Building information modeling-enabled construction safety culture and maturity model: a grounded theory approach. *Frontiers in Built Environment*, 5(35), 12. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00035>
- Peng, L., & Chua, D. K. H. (2017). Decision support for mobile crane lifting plan with Building Information Modelling (BIM). *Procedia Engineering*, 182, 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.154>
- Pinto, A., Nunes, I. L., & Ribeiro, R. A. (2011). Occupational risk assessment in construction industry – Overview and reflection. *Safety Science*, 49(5), 616-624. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.003>
- Providakis, S., Rogers, C. D. F., & Chapman, D. N. (2019) Predictions of settlement risk induced by tunnelling using BIM and 3D visualization tools. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103049>
- Qi, J., Issa, R. R. A., Olbina, S., & Hinze, J. (2014). Use of building information modeling in design to prevent construction worker falls. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000365](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000365)
- Raimbaud, P., Lou, R., Danglade, F., Figueroa, P., Hernandez, J. T., & Merienne, F. (2021). A task-centred methodology to evaluate the design of virtual reality use interactions: A case study on hazard identification. *Buildings*, 11(7), 277. <https://doi.org/10.3390/buildings11070277>
- Rodrigues, F., Antunes, F., & Matos, R. (2021). Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM. *Construction Innovation*, 21(2). DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>
- Rodrigues, F., Baptista, J. S., & Pinto, D. (2022). BIM Approach in Construction Safety-A Case Study on Preventing Falls from Height. *Buildings*, 12(1), 73. <https://doi.org/10.3390/buildings12010073>
- Rodrigues, I. A., & Vasconcelos, B. M. (2024). Análise crítica do papel do BIM na gestão da segurança do trabalho na indústria da construção. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, 15. <https://doi.org/10.20396/parc.v15i00.8674162>. Disponível <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8674162>
- Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y., & Baum, H. (2010). Construction job safety analysis. *Safety Science*, 48(4), 491-498. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.017>

- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Architects, Engineers and Contractors*. 3. ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Schwabe, K., Teizer, J., & Konig, M. (2019). Applying rule-based model-checking to construction site layout planning tasks. *Automation in Construction*, 97, 205-219. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.012>
- Shahtaheri, Y., Rausch, C., West, J., Hass, C., & Nahangi, M. (2017). Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies. *Automation in Construction*, 83, 303-315. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.011>
- Shen, Y., Xu, M., Lin, Y., Cui, C., Shi, X., & Liu, Y. (2022). Safety risk management of prefabricated building construction based on ontology technology in the BIM environment. *Buildings*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/buildings12060765>
- Slot, R. N. F., Heutink, A., & Voordijk, J. T. (2019). Assessing usefulness of 4D BIM tools in risk mitigation strategies. *Automation in Construction*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102881>
- Tixier, A. J.-P., Hallowell, M. R., Rajagopalan, B., & Bowman, D. (2016). Application of machine learning to construction injury prediction. *Automation in Construction*, 69, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.016>
- Tixier, A. J.-P., Hallowell, M. R., Rajagopalan, B., & Bowman, D. (2017). Construction safety clash detection: Identifying safety incompatibilities among fundamental attributes using data mining. *Automation in Construction*, 74, 39-54. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.001>
- Xiahou, X., Li, K., Li, F., Zhang, Z., Li, Q., & Gao, Y. (2022). Automatic identification and quantification of safety risks embedded in design stage: A BIM-enhanced approach. *Journal of Civil Engineering & Management*, 28(4), 278-291. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16560>
- Xie, P., Zhang, R., Zheng, J., & Li, Z. (2022). Automatic safety evaluation and visualization of subway station excavation based on bim-fem/fdm integrated technology. *Journal of Civil Engineering & Management*, 28(4), 320-336. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16727>
- Yasser, M., Rashid, I. A., Nagy, A. M., & Elbehairy, H. S. (2022). Integrated model for BIM and risk data in construction projects. *Engineering Research Express*, 4(4). <https://doi.org/10.1088/2631-8695/aca1e>
- Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z., & Li, Q. (2019). Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction*, 102, 86-104. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015>

- Zhang, P., Li, N., Jiang, Z., Fang, D., & Anumba, C. J. (2019). An agent-based modeling approach for understanding the effect of worker-management interactions on construction workers' safety-related behaviors. *Automation in Construction*, 97, 29-43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.015>
- Zhang, S., Boukamp, F., & Teizer, J. (2015). Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA). *Automation in Construction*, 52, 29-41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>
- Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C. M., & Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. *Safety Science*, 72, 31-45. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- Zhang, S., Teizer, J., Lee, J.-K., Eastman, C. M., & Venugopal, M. (2013). Building Information Modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. *Automation in Construction*, 29, 183-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- Zhang, Z., & Pan, W. (2021). Virtual reality supported interactive tower crane layout planning for high-rise modular integrated construction. *Automation in Construction*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103854>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2016). Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(6), 727-750. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2016-0009>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., Jones, S. W., & Walsh, J. (2019). Risk information management for bridges by integrating risk breakdown structure into 3D/4D BIM. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 23, 467-480. <https://doi.org/10.1007/s12205-018-1924-3>

Apêndice

Tabela 3

Classificação dos artigos revisados

Artigo	Citação	Tecnologia empregada	Previsão de riscos
1	Luo & Gong (2015)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
2	Melzner <i>et al.</i> (2013)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões

3	Golabchi, Han & Abourizk (2018)	Simulações	Riscos ergonômicos
4	Raimbaud <i>et al.</i> (2021)	Tecnologias imersivas	Queda de pessoas e objetos ou colisões
5	Yuan <i>et al.</i> (2019)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
6	Zhang <i>et al.</i> (2019)	Simulações	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
7	Li, Yu & Liu (2018)	Verificações automáticas de regras	Riscos no geral
8	Tixier <i>et al.</i> (2016)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
9	Schwabe, Teizer & Konig (2019)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
10	Sloot, Heutink & Voordijk (2019)	BIM 4D	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
11	Ji & Leite (2018)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
12	Kim & Teizer (2014)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
13	Xiahou <i>et al.</i> (2022)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
14	Xie <i>et al.</i> (2022)	Simulações	Riscos físicos
15	Hongling <i>et al.</i> (2016)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
16	Rodrigues, Baptista & Pinto (2022)	BIM 4D	Queda de pessoas e objetos ou colisões
17	Badran, Alzubaidi & Venkatachalam (2020)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
18	Getuli <i>et al.</i> (2017)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
19	Collinge <i>et al.</i> (2022)	Ontologia	Layout e arranjo físico inadequado
20	Kim, Cho & Kim (2018a)	Simulações	Riscos no geral
21	Zhang <i>et al.</i> (2015)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
22	Getuli <i>et al.</i> (2020)	Tecnologias imersivas	Riscos ergonômicos
23	Kim, Cho & Kim (2018b)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
24	Lu <i>et al.</i> (2021)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
25	Zhang <i>et al.</i> (2013)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
26	Andrich <i>et al.</i> (2022)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
27	Tixier <i>et al.</i> (2017)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
28	Farghaly <i>et al.</i> (2022)	Ontologia	Layout e arranjo físico inadequado
29	Choe & Leite (2017)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
30	Caldart & Scheer (2022)	BIM 4D	Layout e arranjo físico inadequado
31	Chen <i>et al.</i> (2020)	Simulações	Riscos no geral
32	Peng & Chua (2017)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
33	Hossain <i>et al.</i> (2018)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
34	Zou, Kiviniemi & Jones (2016)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado

35	Hossain & Ahmed (2019)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
36	Khan <i>et al.</i> (2019)	Verificações automáticas de regras	Riscos no geral
37	Khan, Park & Seo (2021)	Sistemas de informações geográficas	Riscos físicos
38	Johansen, Schultz & Teizer (2023)	Ontologia	Queda de pessoas e objetos ou colisões
39	Hare, Kumar & Campbell (2020)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
40	Kim <i>et al.</i> (2015)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
41	Chen & Liu (2015)	Simulações	Riscos físicos
42	Yasser <i>et al.</i> (2022)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
43	Chen <i>et al.</i> (2022)	Verificações automáticas de regras	Riscos no geral
44	Kim, Cho & Zhang (2016)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
45	Dong <i>et al.</i> (2018)	BIM 4D	Riscos físicos
46	Shahtaheri <i>et al.</i> (2017)	Verificações automáticas de regras	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
47	Guo & Zhang (2021)	Verificações automáticas de regras	Riscos físicos
48	Zhang, Boukamp & Teizer (2015)	Ontologia	Layout e arranjo físico inadequado
49	Abune'meh <i>et al.</i> (2016)	Sistemas de informações geográficas	Layout e arranjo físico inadequado
50	Marzouk & Al Daour (2018)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
51	Collado-Mariscal <i>et al.</i> (2022)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
52	Deng <i>et al.</i> (2019)	Simulações	Layout e arranjo físico inadequado
53	Zou <i>et al.</i> (2019)	BIM 4D	Layout e arranjo físico inadequado
54	Rodrigues, Antunes & Matos (2021)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
55	Shen <i>et al.</i> (2022)	Ontologia	Layout e arranjo físico inadequado
56	Herzanita, Latief & Lestari (2022)	Verificações automáticas de regras	Layout e arranjo físico inadequado
57	Li <i>et al.</i> (2022)	Ontologia	Queda de pessoas e objetos ou colisões
58	Qi <i>et al.</i> (2014)	Verificações automáticas de regras	Queda de pessoas e objetos ou colisões
59	Jin <i>et al.</i> (2019)	BIM 4D	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
60	Zhang & Pan (2021)	Tecnologias imersivas	Layout e arranjo físico inadequado
61	Guo, Li e Li (2013)	Tecnologias imersivas	Planejamento e demais situações de risco que resultam em acidentes
62	Providakis, Rogers & Chapman (2019)	Verificações automáticas de regras	Riscos físicos