Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1] MODELAGEM BASEADA EM AGENTES PARA A GESTÃO DA SEGURANÇA NO CANTEIRO DE OBRAS: UMA ANÁLISE DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Agent-based modeling for safety management in construction sites: an analysis of scientific production

Vanessa Cruz Pacheco
UFBA | Salvador, BA | pacheco.vanessa@ufba.br

Guilherme dos Santos Bonfim
UFBA | Salvador, BA | guilhermebonfim@ufba.br

Márcio Costa Barros Júnior
UFBA | Salvador, BA | marcio.barros@ufba.br

Elaine Pinto Varela Alberte
UFBA | Salvador, BA | elaine.varela@ufba.br

Dayana Bastos Costa
UFBA | Salvador, BA | dayanabcosta@ufba.br

RESUMO

Os canteiros de obra são ambientes complexos e dinâmicos, compostos por uma variedade de elementos envolvidos na etapa produtiva da construção (materiais, equipamentos e operários). Além disso, o setor da construção é um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho no Brasil. A gestão da segurança é uma atividade fundamental no canteiro de obras, pois identifica, controla e avalia os perigos no ambiente de trabalho. Dentro desse contexto, observa-se a necessidade de estudos que desenvolvam ferramentas para apoio à gestão da segurança na construção. A modelagem baseada em agentes destaca-se como uma metodologia computacional que pode apoiar a gestão da segurança na construção a partir de uma abordagem *bottom-up*, abordagem esta que analisa os aspectos a partir da base da produção (colaboradores) para o topo (gerência). Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre o uso desta metodologia para análise da segurança em canteiros. Como resultado, foi possível traçar um panorama atual sobre o uso de modelagem baseada em agentes para análise da segurança em canteiros de obras e identificar as tendências e lacunas referentes ao design dos modelos (tipo de modelo, resolução espacial e temporal, tipos de softwares) encontrados na literatura internacional.

Palavras-chave: Construção civil; Software; Simulação; Tecnologia da Informação;

ABSTRACT

Construction sites are complex and dynamic environments, composed of a variety of elements involved in the productive stage of construction (materials, equipment and workers). In addition, the construction sector is one of the segments that most register accidents at work in Brazil. Safety management is a fundamental activity at the construction site, as it identifies, controls and assesses hazards in the work environment. Within this context, there is a need for studies that develop tools to support construction safety management. Agent-based modeling stands out as a computational methodology that can support construction safety management from a bottom-up approach, an approach that analyzes aspects from the production base (workers) to the top (management). This article presents a systematic review of the literature on the use of this methodology for analyzing safety at construction sites. As a result, it was possible to draw a current overview of the use of agent-based modeling for safety analysis on construction sites and to identify trends and gaps regarding model design (type of model, spatial and temporal resolution, types of software) found in the international literature.

Keywords: Construction industry; Software; Simulation; Information technology;

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores industriais que mais emprega no Brasil. Segundo dados da CBIC (2023), o setor empregou em 2020 cerca de 7,1% da força de trabalho total do país. Entretanto, o setor foi responsável por 6,38% do total de acidentes ocorridos em 2021 (dados mais recentes disponibilizados pelo Anuário Estatístico da Previdência Social (BRASIL, 2023)), mantendo percentuais semelhantes aos dos anos anteriores. Segundo dados da Escola Nacional da Inspeção do Trabalho, a indústria da construção civil está

[1]PACHECO, V. C.; BOMFIM, G. S. B; BARROS JÚNIOR, M. C.; ALBERTE, E. P. V.; COSTA, D. B. Gestão da segurança no canteiro de obras com base na modelagem baseada em agentes: análise da produção científica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

entre as que apresentam os maiores índices de acidentes de trabalho, juntamente com as piores condições de segurança no mundo (SILVA; MELLO, 2021). A principal causa de acidentes na construção civil se dá devido à natureza dessa indústria, que possui características singulares que tornam o ambiente de trabalho um local perigoso, como por exemplo: ambiente de trabalho dinâmico, multiplicidade de operações e equipamentos pesados (BAVAFA; MAHDIYAR; MARSONO, 2018).

Dessa forma, observa-se a necessidade do desenvolvimento de ferramentas para apoio à gestão da segurança na construção a fim de auxiliar os gestores na tomada de decisão. Visto isso, a modelagem baseada em agentes (MBA) se destaca como uma solução para o desenvolvimento de tais demandas, pois permite que a complexidade dos aspectos envolvidos na gestão da segurança de um canteiro seja analisada a partir de uma abordagem *bottom-up*, ou seja, analisando os aspectos a partir da base da produção (colaboradores) para o topo (gerência) (ZHANG et al., 2019; YE et al., 2020; HE et al., 2022).

O MBA busca analisar um sistema social complexo utilizando agentes virtuais a fim de imitar o comportamento humano e as interações entre os indivíduos no sistema (ZHANG et al., 2019). É um tipo de simulação que foca nos agentes e nas propriedades que emergem de suas interações em um ambiente (FREITAS, 2016). Os agentes individuais podem ser humanos, instituições ou organismos cujos comportamentos são representados explicitamente (THIELE; KURTH; GRIMM, 2014). Esta modelagem permite a criação de sociedades artificiais, facilitando a modelagem de processos cognitivos com capacidades de aprendizado mais realistas, como a habilidade de comunicação social, de formar e manter padrões de interação social, ou de desenvolver percepções compartilhadas (TESFATSION, 2006).

MBA é utilizado quando um ou mais aspectos como a heterogeneidade entre os indivíduos, interações locais e comportamento adaptativo baseado na tomada de decisão são considerados importantes para explicar o comportamento no nível do sistema (GRIMM, 2008).

A revisão bibliográfica desenvolvida por Khodabandelu e Park (2021), entre os anos de 2001 e 2020, indicou que a aplicação da MBA na construção ainda não está madura o suficiente, existindo espaço para sua evolução. E observa-se que dos 182 artigos analisados, apenas cerca de 8% da bibliografia identificada se centram na gestão da segurança dos trabalhadores do setor, o que mostra a necessidade de avanços na área (KHODABANDELU; PARK; 2021).

Diante desses fatos, nota-se que a modelagem baseada em agentes possui potencial para auxiliar a gestão da segurança num ambiente complexo como o canteiro de obras através da simulação de diversos cenários gerenciais, a fim de evitar erros e perdas, principalmente aqueles gerados por acidentes inesperados que tiram o ritmo da produção e impactam no orçamento.

Assim, o objetivo deste estudo é realizar uma análise do conteúdo da literatura internacional no que diz respeito ao uso do MBA para a segurança em canteiros de obra. Com esse propósito, foi realizada uma revisão sistemática da literatura para identificar os critérios que indiquem como a tecnologia MBA tem sido utilizada para apoiar a gestão da segurança na fase de construção. Foram utilizados indicadores bibliométricos relacionados ao ano de publicação e à quantidade de citações, e variáveis de análise para caracterizar os modelos desenvolvidos (tipos de agentes, resolução e tipo dos modelos).

Deste modo, este artigo busca contribuir para o progresso e direcionamento de novos estudos sobre o tema ao identificar tendências e lacunas de pesquisa na área, visto que a modelagem baseada em agentes tem grande potencial para contribuir para a produção de construções sustentáveis, em especial em áreas relacionadas a gestão responsável de pessoas, como o setor de segurança laboral.

2 MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia escolhida para conduzir a presente pesquisa é a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre o uso do MBA para a gestão da segurança nos canteiros de obra. A RSL trata-se de um método utilizado para identificar, avaliar e interpretar pesquisas relevantes para uma determinada questão de pesquisa, tópico ou fenômeno de interesse próprio (MACHADO; RUSCHEL, 2018).

A busca por publicações foi realizada nas seguintes bases de dados: Scopus e Science Direct. Estas bases foram escolhidas devido a sua representatividade e relevância dentro da área de conhecimento da construção civil. A *string* utilizada para realizar a busca nas bases de dados, bem como os resultados obtidos a partir dos critérios de inclusão, estão indicados na Tabela 1.

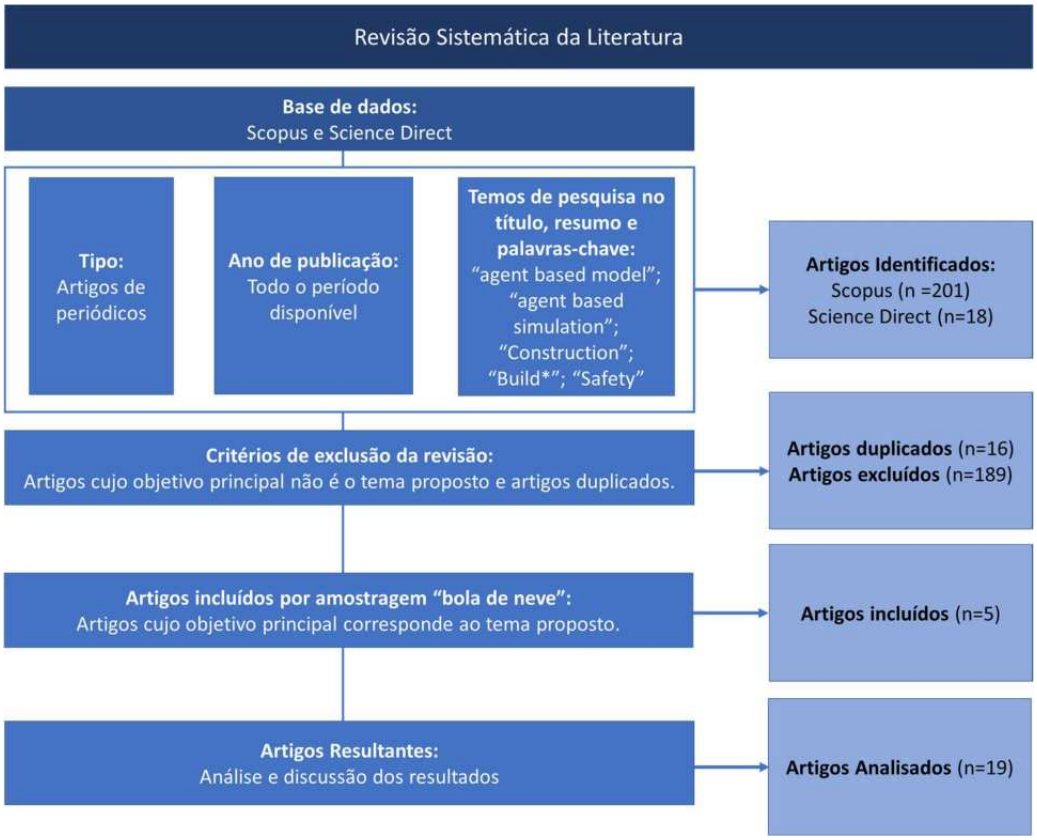
Dos 218 resultados obtidos na Scopus e no Science Direct, 16 foram identificados como duplicados na Science Direct. Dos 203 resultados restantes, apenas 14 artigos estavam efetivamente relacionados ao tema de pesquisa. Cinco artigos foram inclusos por amostragem “bola de neve”, identificados na revisão bibliográfica feita por Khodabandelu e Park (2020). A Figura 1 ilustra as etapas adotadas na revisão. Deste modo, a amostra final selecionada foi composta por 19 artigos. A análise sistemática do conteúdo foi direcionada para analisar a relação entre o uso do MBA com a gestão da segurança. Nesta etapa, buscou-se investigar a seguinte questão de pesquisa: Qual o panorama atual de design de modelos baseado em agentes voltados à análise da gestão da segurança em canteiros?

Tabela 1: Definição da String

BASE DE DADOS	TERMOS DE PESQUISA	RESULTADOS
SCOPUS E SCIENCE DIRECT	TITLE-ABS-KEY (("agent-based" AND (model* OR simulation)) AND (construction OR build*) AND safety))	14
AMOSTRAGEM “BOLA DE NEVE”	-	5

Fonte: os autores.

Figura 1: Diagrama de fluxo das atividades de pesquisa



Fonte: os autores.

Assim, a análise do conteúdo foi direcionada a analisar as características e os conceitos de design dos modelos baseados em agentes desenvolvidos por cada publicação selecionada de acordo com as variáveis apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Variáveis de Análise

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
Agentes	Identifica os stakeholders que foram adotados no modelo como agentes responsáveis pela dinâmica social simulada.
Propósito	Categoriza os modelos de acordo com a finalidade da modelagem.
Software	Identifica a plataforma de software ou kit de ferramentas adotado para implementar a modelagem proposta.
Representação espacial	Refere-se à representação do espaço sobre o qual ocorrerão os movimentos e as interações dos agentes.
Resolução espacial	Refere-se à visão espacial do modelo.
Resolução temporal	Refere-se ao tempo de simulação dos agentes no modelo.

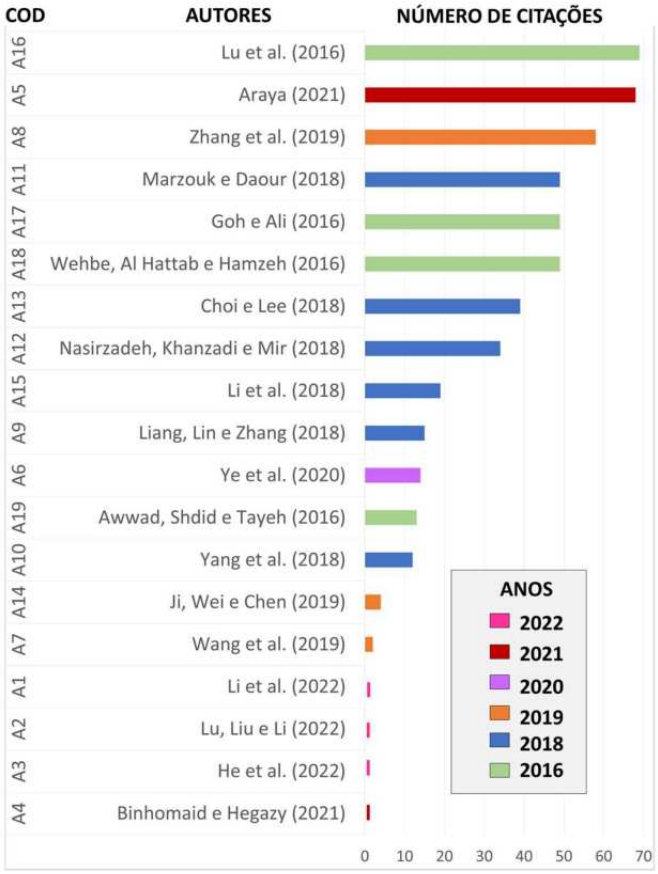
Fonte: os autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os artigos selecionados na Etapa 1 (Delimitação das publicações) por código, título e número de citações. O artigo A16 se destaca com maior número de citações (69 citações). Em seguida, encontram-se os artigos A5 (68 citações) e o artigo A8 (58 citações). O artigo A16 investiga como diferentes investimentos em segurança interagem com diferentes parâmetros (fatores humanos e ambientais), e como estes podem afetar o desempenho de segurança. O artigo A5 estudou o potencial impacto do COVID-19 nos trabalhadores da construção civil e buscou analisar diferentes níveis de contágio de acordo com a atividade da construção. O artigo A8 modela interações interpessoais nos canteiros entre trabalhadores e equipes de gerenciamento para estudar o efeito dessas interações no desempenho de segurança da construção.

O quadro 2 apresenta os propósitos dos modelos identificados nos artigos. Observa-se que 9 dos 19 artigos focaram na análise do impacto das intervenções gerencias no comportamento seguro e inseguro dos trabalhadores. Enquanto 6 artigos analisaram somente o comportamental do trabalhador, sem relacionar com fatores organizacionais. Em menor quantidade observam-se dois artigos com foco na evacuação dos canteiros de obras e três que analisaram o impacto de fatores gerenciais externo no comportamento dos colaboradores.

Figura 2: Artigos selecionados por código, autores e citações



Fonte: Os autores.

A Figura 3 apresenta o panorama atual de design de modelos baseado em agente voltados à análise da gestão da segurança em canteiros, em função da quantidade e dos tipos de agentes considerados nos modelos. A maior parte dos modelos utiliza somente um tipo de agente representando a equipe operacional do canteiro (A1, A3, A4, A5, A10, A11, A13, A14, A15 e A18). Os modelos restantes possuem distribuições variáveis de agentes, que podem compreender dois a quatro tipos (A2, A6, A7, A8, A9, A12, A16, A17 e A19). Independente da configuração, a equipe operacional está presente em quase todos os modelos. O que está de acordo com os estudos sobre gestão da segurança nos canteiros de obra, visto que grande parte dos acidentes da construção estão relacionados ao comportamento inseguro dos trabalhadores, como consequência do processo de tomada de decisão dos colaboradores (CHOI; LEE; 2018).

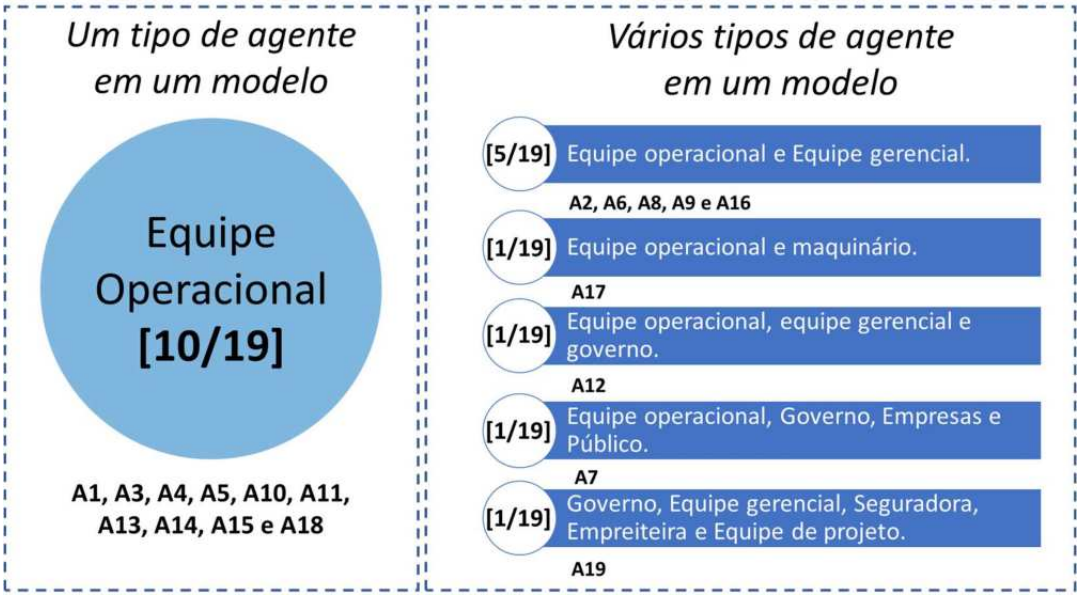
Quadro 2: Propósitos dos modelos

COD	PROPÓSITO
A2, A3, A6, A8, A9, A13, A15, A16 e A18	Influência de intervenções gerenciais internas na postura segura ou insegura de colaboradores da construção.
A1, A3, A4, A5, A14 e A17	Análise da postura comportamental de colaboradores da construção frente aos riscos
A10 e A11	Análise de planos para situação de emergência.
A7, A12 e A19	Influência de aspectos externos gerenciais na postura segura ou insegura de colaboradores da construção.

Fonte: os autores.

Porém, nota-se também uma tendência de estudos que relacionem as atitudes de segurança dos colaboradores da construção com as atitudes gerências, sejam essas internas, como gestores sêniores, encarregados e supervisores de segurança (A2, A6, A8), ou fatores externos, como o governo e companhia de seguros (A7, A18, A19). Isso mostra uma tendência da literatura de buscar compreender quais fatores organizacionais e sociais podem interferir no processo decisório do agente, a fim de analisar a possibilidade de utilizar esses fatores para estimular e influenciar o comportamento seguro dos trabalhadores e assim reduzir o número de acidentes nos canteiros de obra.

Figura 3: Modelos por tipo de agente



Fonte: os autores.

Apesar da maior parte dos artigos analisem os impactos gerencias (Quadro 2), dos 9 artigos, 5 consideram os gestores como agentes dos modelos (Figura 3). As quatro pesquisas restantes consideram parâmetros no ambiente modelado para indicar fatores organizacionais que podem influenciar o comportamento do colaborador. Assim, estes não consideram a influência direta da interação entre equipe operacional e equipe gerencial, nem analisam possíveis cenários gerenciais. O trabalho A3, por exemplo, possui dois propósitos, pois dentro os fatores de análise, considera o parâmetro LMX para indicar o intercâmbio líder-membro. Porém só considera como agentes em seu modelo a equipe operacional.

De acordo com Crooks (2019), os modelos podem ser classificados em quatro tipos de acordo com o espaço modelado: contínuo, geográfico, topológico e celular. Enquanto o contínuo refere-se a espaços abstratos e não faz referência explícita a uma localização geográfica, o geográfico associa o espaço a um sistema de coordenadas. O celular apresenta uma representação em forma de grade, seja de um espaço contínuo ou geográfico, e o topológico pode ser referido como uma rede que conecta os objetos.

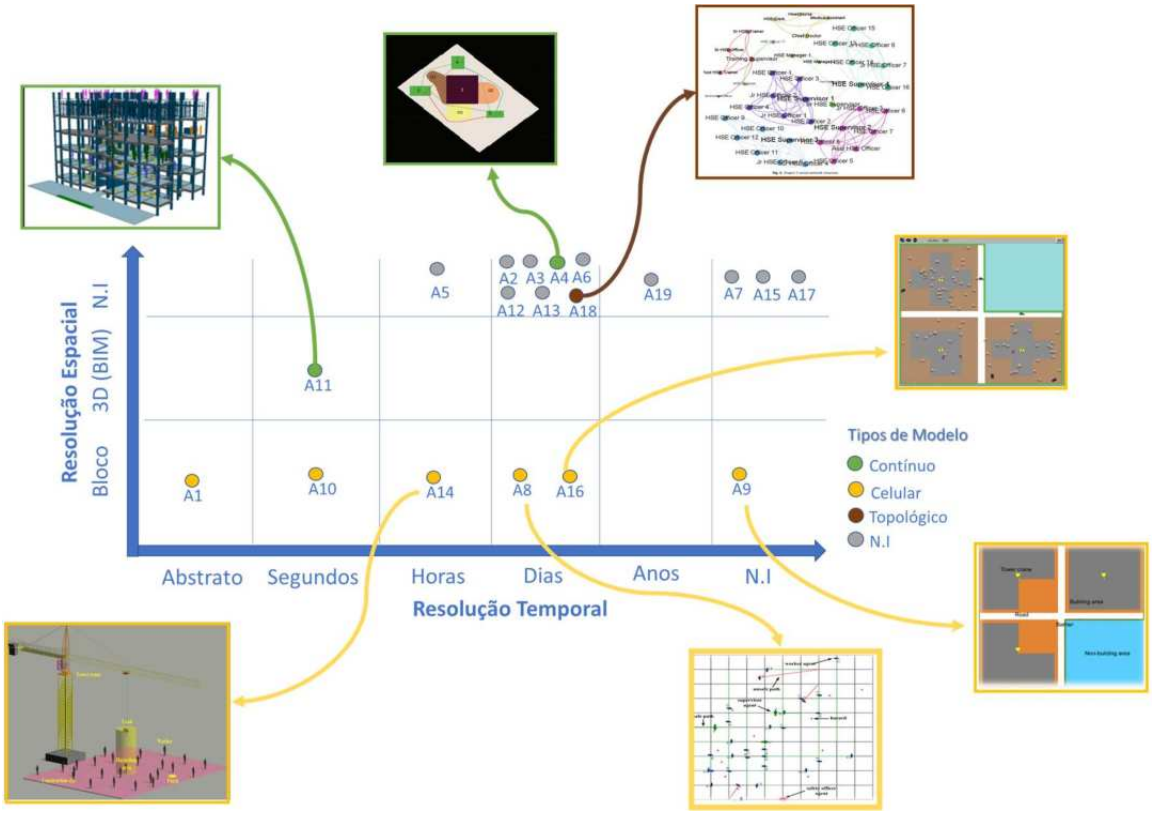
A Figura 4 apresenta os tipos de modelos identificados nos artigos, relacionado com a resolução espacial e temporal. A maior parte dos artigos analisados desenvolve ou propõe modelos celulares (A1, A8, A9, A10, A14), apresentando a mesma resolução espacial por meio de blocos. Entretanto, esses artigos não apresentam uma tendência sobre o tipo de resolução temporal. Enquanto o artigo A1 utilizou um tempo abstrato e associou a atitude insegura do trabalhador com diferentes personalidades, A8 analisou o impacto de diferentes ações gerenciais no comportamento dos trabalhadores em dias. A9 também observou o

impacto de estratégias gerenciais em indivíduos. Observa-se que os agentes operacionais de A9 observam e aprendem com as violações de segurança dos colegas de trabalho. Entretanto, o mesmo não acontece com os agentes operacionais de A8.

A14 utilizou o tempo em horas para analisar a influência de apoio entre os colaboradores, apresentando como diferencial um risco variável associado a posição do guindaste ao longo da obra. A10, por outro lado, simula a evacuação de poços de fundação profunda na presença de desastre de colapso em segundos. Os modelos contínuos aparecem em segundo lugar, com apenas dois artigos classificados desta forma (A4 e A11). O artigo A4 utilizou o NetLogo para desenvolver um modelo que associa produtividade dos trabalhadores com a performance de segurança, considerando os comportamentos naturais dos trabalhadores em relação a vários obstáculos do local e às áreas perigosas. A11 buscou estimar o tempo de evacuação da mão de obra em diferentes momentos da construção, de modo a desenvolver um plano de evacuação eficaz em caso de emergência e desastre.

Apenas o modelo desenvolvido por A18 foi classificado como topológico. A18 buscou avaliar o desempenho da segurança e a resiliência da rede aos riscos, ao analisar as redes de consumição entre operários e gestores por meio de um mapeamento usando *Gephi*. Finalmente, nenhum modelo foi classificado como geográfico dentre os modelos identificados nos 19 artigos. Faz sentido não encontrar um modelo geográfico, visto que o canteiro de obras geralmente é um ambiente com uma dimensão bastante inferior a bairros e cidades. Assim, não se justifica considerar coordenadas geográficas para monitorar a locomoção dos agentes, pensando na movimentação das pessoas neste ambiente laboral. Segundo Crooks (2019), esse tipo de modelo é frequentemente utilizado para estudos de habitação, transporte e criminalidade.

Figura 4: Modelos por resolução espacial e temporal



Fonte: os autores.

Observa-se que a quantidade de plataformas e toolkits disponíveis no mercado para o desenvolvimento de MBAs, segundo Freitas (2016), é muito maior do que a evidenciada na amostra analisada. Além disso, cada software possui pontos fortes e fracos a serem considerados. A escolha da plataforma e/ou toolkit pondera a escala de simulação adotada, os requisitos de computação e as extensões de modelos existentes que porventura os desenvolvedores tenham utilizado como base, além da experiência anterior dos desenvolvedores em determinada linguagem de codificação.

Percebe-se uma tendência do uso do Netlogo (A2, A3, A4, A14, A16 e A18) e Anylogic (A1, A5, A8, A9 e A17). Estes toolkits são softwares para simulação baseada em agentes que podem ser utilizadas gratuitamente, desde que visem o propósito do aprendizado e educação. Das cinco pesquisas que utilizaram o Anylogic, três apresentam modelos celulares com resolução em bloco (A1, A8 e A9), apesar do software ter a capacidade de apresentar representações espaciais de formas variadas.

A pesquisa A2 comparou o impacto de ações tradicionais de gerenciamento com ações inteligentes no processo cognitivo do trabalhador, de modo a reduzir o número de acidentes. Em contrapartida, A13 investigou a influência dos colegas de trabalho e das intervenções gerenciais no processo cognitivo dos trabalhadores, a fim de produzir comportamentos seguros dos operários. A3 buscou estudar processo de decisão do trabalhador da construção, o relacionando com fatores como idade, nível de escolaridade, conhecimento individual, fatores organizacionais de segurança e fatores psicológicos. Por outro lado, A12 utilizou uma simulação híbrida, através da integração entre Dinâmica de Sistemas (DS) e MBA para entender como o desempenho da produção é afetado pelo comportamento de segurança de diferentes grupos de trabalho. Finalmente, A16 investigou como diferentes investimentos em segurança podem afetar o desempenho de segurança e influência no comportamento dos colaboradores.

Observa-se que não foi possível identificar a resolução espacial dos modelos de vários estudos (A2, A3, A4, A12, A13 e A18). Além disso, em três artigos (A7, A15 e A17) não foi identificado nenhum dos três parâmetros (resolução espacial, resolução temporal e tipo de software adotado).

O artigo A7 elaborou uma pesquisa com foco em empresas de pequena escala, a fim de analisar como Comportamentos de Proatividade de Segurança Orientados à Proteção do Empregado podem ter diferentes impactos no nível de produção de segurança em ambientes específicos. A15 construiu um modelo estrutural de três camadas para estudar os efeitos de diferentes estratégias de incentivo no comportamento seguro das equipes de construção em diferentes cenários de gestão. A17 utiliza uma combinação de simulação de eventos discretos (SED), simulação baseada em agentes (SBA) e dinâmica de sistemas (DS) para integrar considerações comportamentais de segurança no planejamento de uma atividade de construção. Porém, de forma geral, grande parte dos modelos (A2, A3, A4, A8, A12, A13, A16 e A18) utilizam a resolução temporal em dias, a fim de compreender a evolução por dias do número de acidentes nos canteiros de obras. A exceção é dada por A10 e A11, que simulam o tempo em segundos, A19, que estuda a evolução em anos, e A1, que utiliza o tempo de forma abstrata.

A resolução temporal em segundos é imprescindível para A10 e A11, visto que ambos buscam analisar o tempo necessário para evacuação. A10 simula o comportamento de trabalhadores da construção durante a execução de poços de fundação profunda, enquanto A11 estuda a necessidade de evacuação durante a construção de um edifício. O artigo A19, por sua vez, faz uma análise de longo prazo que simula a interação entre os principais stakeholders que podem influenciar o clima de segurança da construção (equipe gerencial, companhia de seguro, equipe de projeto e governo), justificando uma simulação que analisa dados ao longo de anos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos, foi possível traçar um panorama atual sobre o uso de modelagem baseada em agentes para análise da segurança em canteiros de obras. Como tendências, observa-se o desenvolvimento de modelos com foco no comportamento dos colaboradores da construção e desenvolvimento de estudos com mais de um tipo de agente, com o foco na análise de influências gerenciais internas e externas no comportamento inseguro dos trabalhadores. Nota-se uma tendência de uso de softwares gratuitos, como o Netlogo e o *Anylogic*, com o foco em representações espaciais de modelos celulares, com resolução espacial em bloco e resolução espacial em dias.

Como lacunas, observa-se a necessidade de mais estudos que relacionem o comportamento seguro e inseguro dos agentes com a influência de distintos stakeholders, bem como o impacto de maquinários na segurança. Assim como a necessidade de modelos que considerem membros da equipe gerencial, como supervisores de segurança ou encarregados, como agentes dos modelos, considerando seus atributos e regras de interação entre agentes

A modelagem baseada em agentes mostrou-se uma metodologia capaz de permitir a representação simplificada da realidade para análise de sistemas complexos. A2, A3, A8, e A13, em especial, destacam este potencial. Os resultados deste artigo estão limitados ao âmbito da amostra obtida a partir da *string* de

pesquisa e das bases de dados utilizadas. Com o possível crescimento de publicações sobre o tema, maior quantidade de exemplos de uso da modelagem baseada em agentes para análise da segurança de canteiros poderá ser vista no futuro. Para o avanço do conhecimento apresentado, sugere-se a análise de outras variáveis relacionadas à caracterização dos modelos e estudos identificados, tais como interações dos agentes (regras físicas, e ações / decisões), abordagens para definição do comportamento humano, e procedimentos para calibração e validação.

5 AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão de bolsa de Mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiro (Projeto 402380/2021-5).

REFERÊNCIAS

ARAYA, Felipe. Modeling the spread of COVID-19 on construction workers: An agent-based approach. **Safety science**, v. 133, p. 105022, 2021. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105022

BAVAFA, Ali; MAHDIYAR, Amir; MARSONO, Abdul Kadir. Identifying and assessing the critical factors for effective implementation of safety programs in construction projects. **Safety science**, v. 106, p. 47-56, 2018. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.025

BINHOMAID, Omar; HEGAZY, Tarek. Agent-based simulation of workers' behaviors, productivity, and safety around construction obstacles. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 48, n. 8, p. 969-978, 2021. doi: https://doi.org/10.1139/cjce-2019-0320.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Anuário Estatístico da Previdência Social 2021. Brasília: MF/DATAPREV, 2023.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **PIB Brasil e Construção Civil – PIB e Investimento**. 2023. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil. Acesso em: 28 mar. 2023.

CHOI, Byungjoo; LEE, SangHyun. An empirically based agent-based model of the sociocognitive process of construction workers' safety behavior. **Journal of construction engineering and management**, v. 144, n. 2, p. 04017102, 2018. doi: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001421

FREITAS, J. F. **Modelagem baseada em agentes nas Ciências Sociais e Relações Internacionais**. 2016. 61 p. Dissertação (Graduação em Relações Internacionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

GOH, Yang Miang; ALI, MOHAMED Jawad Askar. A hybrid simulation approach for integrating safety behavior into construction planning: An earthmoving case study. **Accident Analysis & Prevention**, v. 93, p. 310-318, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.09.015

GRIMM, Volker. Individual-Based Models. In S. Jørgensen (Ed.). **Encyclopedia of Ecology**. Oxford: Elsevier, 2008. p. 1959–1968. doi:10.1016/b978-008045405-4.00188-9

HE, Changquan; JIA, Guangshe; MCCABE, Brenda; CHEN, Yuting; ZHANG, Puwei; SUN, Jide. Psychological decision-making process of construction worker safety behavior: an agent-based simulation approach**. International journal of occupational safety and ergonomics**, p. 1-13, 2021. doi: https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2022351

JI, Tingting; WEI, Hsi-Hsien; CHEN, Jiayu. Understanding the effect of co-worker support on construction safety performance from the perspective of risk theory: an agent-based modeling approach. **Journal of civil engineering and management**, v. 25, n. 2, p. 132-144, 2019. doi: https://doi.org/10.3846/jcem.2019.7642

KHODABANDELU, Ali; PARK, JeeWoong. Agent-based modeling and simulation in construction. **Automation in Construction**, v. 131, p. 103882, 2021. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103882

LI, Keqing; WANG, Ting-Kwei; YU, Anyuan; CHEN, Jieh-Haur. The Influence of Mutual Assistance of Construction Workers with Different Personality Traits on Team Safety. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2022, 2022. doi: https://doi.org/10.1155/2022/1396368

LI, Zhen; LV, Xiaofei.; ZHU, Hongming; SHENG, Zhaohan. Analysis of complexity of unsafe behavior in construction teams and a multiagent simulation. **Complexity**, v. 2018, 2018. doi: https://doi.org/10.1155/2018/6568719

LIANG, Huakang; LIN, Ken-Yu; ZHANG, Shoujian. Understanding the social contagion effect of safety violations within a construction crew: a hybrid approach using system dynamics and agent-based modeling. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 12, p. 2696, 2018. doi: https://doi.org/10.3390/ijerph15122696

MACHADO, Fernanda Almeida; RUSCHEL, Regina Coeli. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 9, n. 3, p. 204-222, 2018. doi: https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650216

MARZOUK, Mohamed; AL DAOUR, Ismail. Planning labor evacuation for construction sites using BIM and agent-based simulation. **Safety science**, v. 109, p. 174-185, 2018. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.023

NASIRZADEH, Farnad; KHANZADI, Mostafa; MIR, Mostafa. A hybrid simulation framework for modelling construction projects using agent-based modelling and system dynamics: an application to model construction workers' safety behavior. **International Journal of Construction Management**, v. 18, n. 2, p. 132-143, 2018. doi: http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2017.1285485

SILVA, Edson Neves da; MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito. Proposta de um sistema de gestão integrando os princípios da construção enxuta (Lean Construction) aos aspectos da gestão da qualidade, segurança, meio ambiente e saúde ocupacional, com o foco nas empresas de pequeno porte da construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 79384-79414, 2021. doi: https://doi.org/10.34117/bjdv7n8-243

TESFATSION, Leigh. Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory. **Handbook of computational economics**, v. 2, p. 831-880, 2006. doi: https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02016-2

WANG, Qiwei; CURCURUTO, Matteo; MEI, Qiang.; LIU, Suxia; ZHOU, Qiaomei; ZHANG, JingJing..Agent-based modeling of employee protection-oriented safety proactivity behaviors at small scale enterprises. **BioMed Research International**, v. 2019, 2019. doi: https://doi.org/10.1155/2019/2471418

WEHBE, Farah.; AL HATTAB, Malak; HAMZEH, Farook. Exploring associations between resilience and construction safety performance in safety networks. **Safety science**, v. 82, p. 338-351, 2016. doi: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.006

YANG, Weilong; HU, Yue; HU, Cong; YANG, Mei. An agent-based simulation of deep foundation pit emergency evacuation modeling in the presence of collapse disaster. **Symmetry**, v. 10, n. 11, p. 581, 2018. doi: https://doi.org/10.3390/sym10110581

YE, Gui; YUE, Hongzhe; YANG, Jingjing; LI, Hongyang; XIANG, Qingting; FU, Yuan; CUI, Can. Understanding the sociocognitive process of construction workers' unsafe behaviors: an agent-based modeling approach. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 5, p. 1588, 2020. doi: https://doi.org/10.3390/ijerph17051588

ZHANG, Peiyao; LI, Nan; JIANG, Zhongming.; FANG, Dongping; ANUMBA, Chimay. J. An agent-based modeling approach for understanding the effect of worker-management interactions on construction workers' safety-related behaviors. **Automation in Construction**, v. 97, p. 29-43, 2019. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.015