XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Segurança em canteiros a partir de modelagem baseada em agentes: um panorama acerca da literatura

Safety at construction sites based on agent-based modeling: an overview of the state of the art

Vanessa Cruz Pacheco
UFBA | Salvador | Brasil | vanessa_cruz_pacheco@hotmail.com
Elaine Pinto Varela Alberte
UFBA | Salvador | Brasil | elaine.varela@ufba.br
Dayana Bastos Costa
UFBA | Salvador | Brasil | dayanabcosta@ufba.br

Resumo

Os canteiros de obra possuem uma natureza dinâmica e apresentam uma complexidade de problemas relacionados à segurança devido à multiplicidade e instabilidade dos fatores envolvidos. A modelagem baseada em agentes destaca-se como uma metodologia computacional que permite a representação simplificada da realidade para análise de sistemas complexos a partir de uma abordagem bottom-up. Este artigo apresenta um panorama da literatura sobre o uso desta metodologia para análise da segurança em canteiros, a partir de revisão sistemática da literatura. Como resultado, identificam-se tendências relacionadas às abordagens teóricas e aos propósitos dos modelos, bem como lacunas com relação aos cenários de risco.

Palavras-chave: Modelagem baseada em agentes. Simulação. Segurança. Canteiros de Obra. Construção civil.

Abstract

Construction sites have a dynamic nature and present complexity of safety-related problems due to the diversity and instability of the factors involved. Agent-based modeling stands out as a computational methodology that allows a simplified representation of reality to analyze complex systems from a bottom-up approach. This article presents an overview of the literature on using this methodology for safety analysis on construction sites, based on a systematic literature review. The results showed trends related to theoretical approaches, purposes of the models, and gaps in risk scenarios.

Keywords: Agent-based model. Simulation. Safety. Construction Sites. Construction.

PACHECO, V. C.; ALBERTE , E. P. V.; COSTA , D. B. . Segurança em canteiros a partir de modelagem baseada em agentes: um panorama acerca da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2009

INTRODUÇÃO

O setor da Construção Civil possui grande relevância na estrutura econômica do país, sendo responsável por uma considerável parte da geração de empregos no Brasil. Segundo dados da CBIC [1] o setor empregou em 2019 cerca de 7,5% da força de trabalho total do país. Por outra parte, o Setor da Construção Civil mantém as características dos modelos de produção artesanais, onde mão de obra se submete a atividades pesadas e de alto risco.

Deste modo, o setor também se destaca por ser um dos segmentos que mais registram acidentes de trabalho no Brasil. Segundo o Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho [2], aconteceram no país cerca de 446,9 mil acidentes de trabalho em 2020, onde mais de 10 mil ocorrem somente dentro do setor da construção.

Visto a complexidade deste sistema, devido à grande diversidade de elementos envolvidos na etapa produtiva da construção (materiais, equipamentos e operários), observa-se a necessidade de estudos que desenvolvam ferramentas para apoio à gestão da segurança na construção. A modelagem baseada em agentes (ou sua sigla em inglês ABM, *Agent based Model*) se destaca como uma solução para o desenvolvimento de tais questões. Trabalhos recentes têm buscado analisar o tema a partir desta abordagem *bottom up*, abordagem esta que analisa os aspectos a partir da base da produção (colaboradores) para o topo (gerência) [3] [4] [5] [6].

ABM se trata de uma metodologia computacional que permite que um modelo construído seja simulado a fim de possibilitar a realização de testes de cenário em uma população artificial [7]. Esse modelo pode ser entendido como uma representação simplificada da realidade, que necessita da escolha de um nível adequado de abstração, de modo a identificar as informações relevantes a serem consideradas e aquelas que não são pertinentes [8].

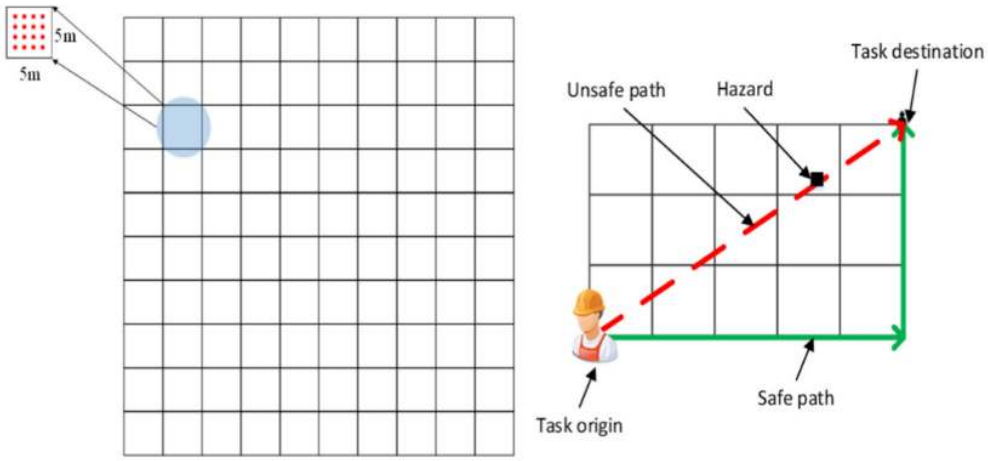
O objetivo deste estudo é analisar o panorama atual acerca da literatura sobre o uso da ABM para a gestão da segurança em canteiros de obra. Para isso, foram utilizados indicadores bibliométricos relacionados ao ano de publicação e à quantidade de citações, e variáveis de análise para caracterizar os modelos desenvolvidos (propósito, âmbito de aplicação e conceitos de design como fundamentação teórica e/ou empírica e características dos agentes). 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.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

ABM 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 [9]. É um tipo de simulação que foca nos agentes e nas propriedades que emergem de suas interações em um ambiente [10]. Os agentes individuais podem ser humanos, instituições ou organismos cujos comportamentos são representados explicitamente [11]. ABM se baseia em quatro premissas: os agentes são autônomos

e interdependentes, seguem regras simples, são adaptativos e consideram o passado [12]. A figura 1 apresenta um esquema do ambiente de simulação do modelo desenvolvido por Zhang et al. [6].

Figura 1: Ambiente de simulação do modelo



Fonte: Zhang et al (2019) [6]

A modelagem baseada em agentes atingiu um nível de maturidade e tornou-se uma útil ferramenta para sociólogos, pois 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 [13].

Nos últimos 20 anos a modelagem baseada em agentes tem sido aceita como ferramenta de pesquisa aplicável aos problemas analisados pelos(as) cientistas sociais, principalmente com o lançamento de plataformas gratuitas para o desenvolvimento de modelos, como o NetLogo e o Swarm, tornando a modelagem mais acessível [10].

Khodabandelu e Park [14] realizaram uma revisão bibliográfica entre os anos de 2001 e 2020 para análise da evolução do uso de ABM para investigar os problemas da indústria da construção. Segundo os autores, a aplicação de ABM na construção ainda não está madura o suficiente, existindo espaço para sua evolução. Enquanto tópicos relacionados à etapa de pré-construção (projetos, contratos e planejamentos) estiveram presentes em 61 dos 182 artigos analisados, apenas cerca de 8% da bibliografia identificada pelos autores se centram na gestão da segurança dos trabalhadores do setor, o que mostra a necessidade de avanços na área.

Em especial, Khodabandelu e Park [14] observaram que devido à multiplicidade e instabilidade nos fatores envolvidos dos canteiros de obra, a modelagem baseada em agentes se trata de uma abordagem bastante adequada para análise deste ambiente. Sobre o uso de ABM para análise da segurança em canteiro de obras, destacam-se os estudos desenvolvidos por Zhang et al [6], que modelou as interações interpessoais entre trabalhadores e equipes de gerenciamento para estudar o efeito dessas interações no desempenho de segurança da construção; por Song et al [15], que desenvolveram um ABM para alcançar um plano ideal para o layout de um canteiro de

obras; e por Xue [16], que analisou a entrega de materiais nos canteiros a partir deste tipo de modelagem.

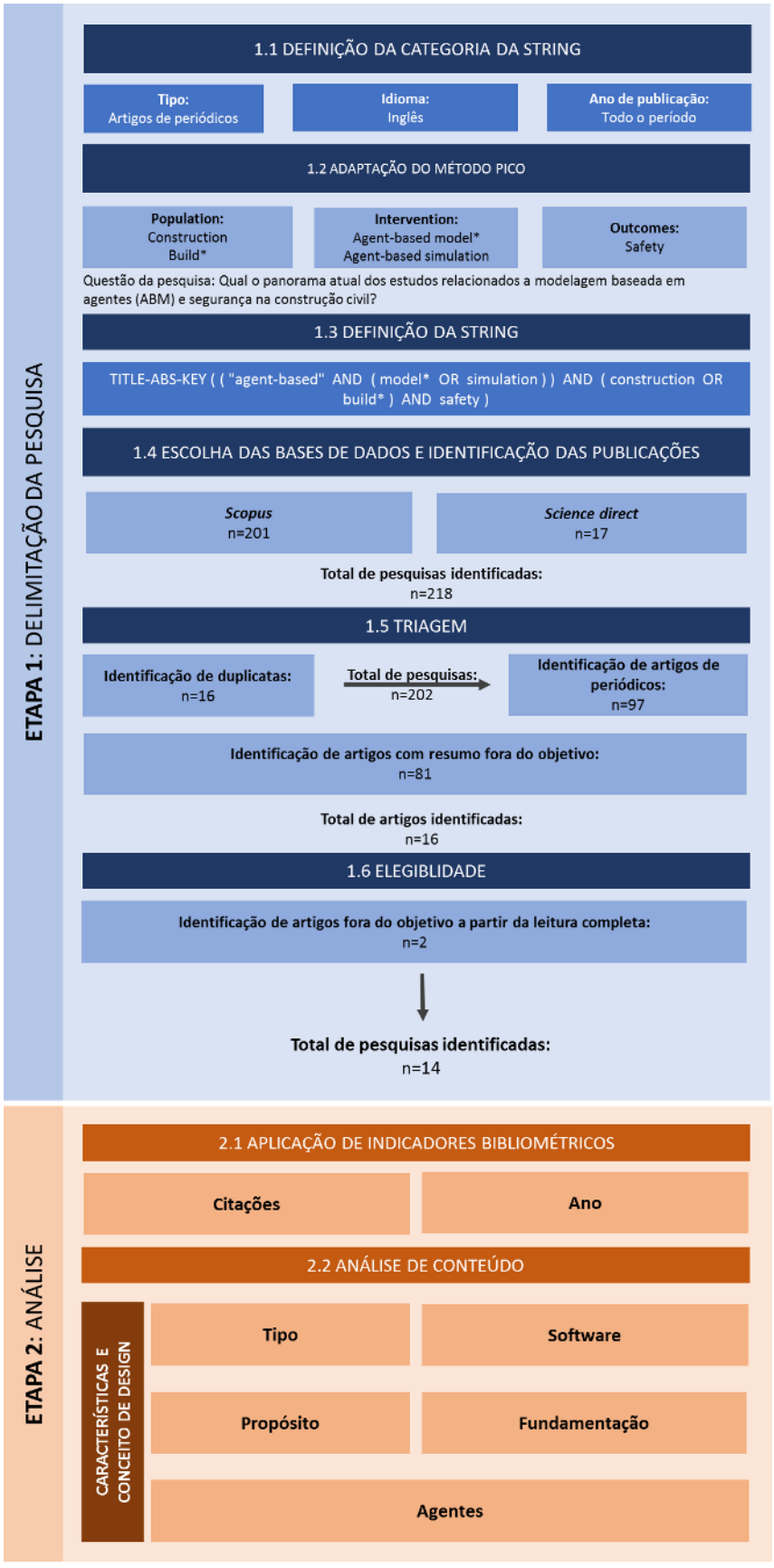
METODOLOGIA

A presente pesquisa possui caráter exploratório e foi desenvolvida em duas etapas: Delimitação das publicações (Etapa 1) e Análise do conteúdo (Etapa 2). A Figura 2 esquematiza o fluxo das atividades realizadas durante as etapas 1 e 2.

A primeira etapa (Delimitação das publicações) consistiu na definição da questão e termos (*string*) da pesquisa. A *string* utilizada na busca tem como base a adaptação do método PICO (*Population, Intervention, Comparasion* e *Outcomes*), segundo a adaptação de Agostinho e Granja [17]. A questão e termos de pesquisa levaram em consideração três dos quatro itens do método: população (P), intervenção (I) e efeitos desejados (O). Já que não há uma comparação entre dois métodos específicos o item *Comparasion* não foi utilizado neste estudo.

A busca por publicações foi realizada nas seguintes bases de dados: Science Direct e Scopus. Tais bases foram escolhidas devido a sua representatividade e relevância dentro da área de conhecimento da construção civil.

Figura 2: Diagrama de fluxo das atividades desenvolvidas nas etapas da pesquisa



Fonte: Autores.

Dos 218 resultados obtidos, 16 foram identificados como duplicados na base Science Direct. Dos 202 artigos remanescentes, somente 97 eram artigos de periódicos e estes foram analisados a partir da leitura dos títulos e resumos, buscando-se confirmar sua relação direta com a questão da pesquisa. Desse primeiro filtro (triagem) foram excluídos 81 artigos na base SCOPUS.

O segundo filtro (elegibilidade) foi realizado com a leitura completa das 16 publicações remanescentes. Nesta etapa, foram selecionados apenas os artigos que estivessem apresentando um modelo baseado em agentes para analisar a segurança em canteiros de obra. No segundo filtro, apenas 14 artigos atenderam ao requisito.

A segunda etapa (Análise do conteúdo) consistiu em uma análise sistemática do conteúdo da amostra final selecionada, composta por 14 artigos. Esta análise inicialmente categorizou as publicações por ano e quantidade de citações (indicadores bibliométricos). Em seguida, 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	Definição
Tipo	Categoriza os modelos apresentados em cada publicação em empíricos (modelos que se concentram em um único estudo de caso e tentam replicar o máximo possível suas características geográficas) e teóricos (modelos que abordam padrões amplos sem depender de casos específicos).
Software	Identifica a plataforma de software ou toolkit adotada para implementar a modelagem proposta.
Propósito	Categoriza os modelos em função do objetivo da modelagem.
Fundamentação	Identifica os tipos de evidências (teóricas ou empíricas) que foram adotadas como premissas para o desenvolvimento da estrutura do modelo (fatores externos, escalas de espaço e tempo, população, regras físicas e de comportamento).
Agentes	Identifica os stakeholders que foram adotados no modelo como agentes responsáveis pela dinâmica social simulada.

Fonte: Autores.

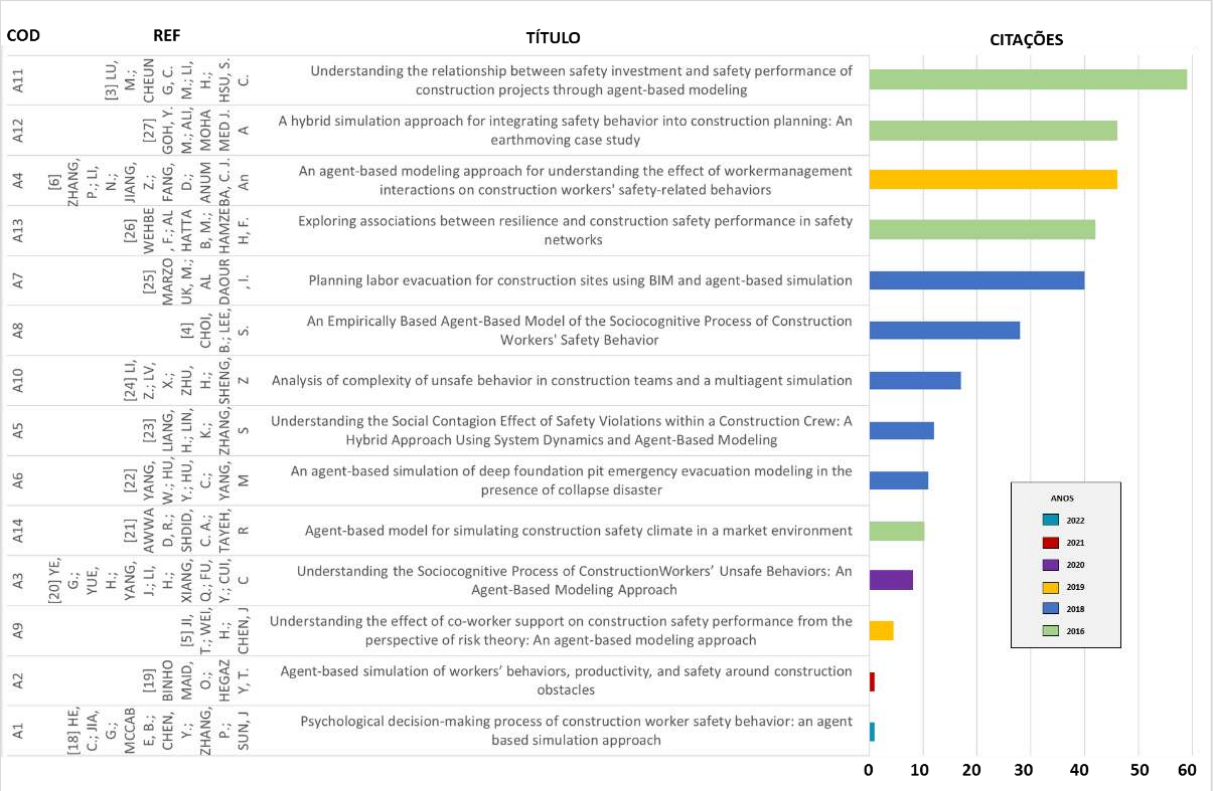
ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 3 apresenta os artigos selecionados na Etapa 1 (Delimitação das publicações) por código, título e número de citações. O artigo A11 [3] se destaca com maior número de citações (59 citações). Em seguida, encontram-se os artigos A12 [18] (46 citações), A4 [6] (45 citações), A13 [19] (42 citações) e A7 [20] (40 citações).

O artigo A11 [3] 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 A12 [18] utiliza uma combinação de simulação de eventos discretos, simulação baseada em agentes e dinâmica de sistemas a fim de integrar considerações comportamentais de segurança no planejamento de uma atividade de construção. O artigo A4 [6] modela interações interpessoais nos canteiros

entre trabalhadores e equipes de gerenciamento para estudar o efeito dessas interações no desempenho de segurança da construção.

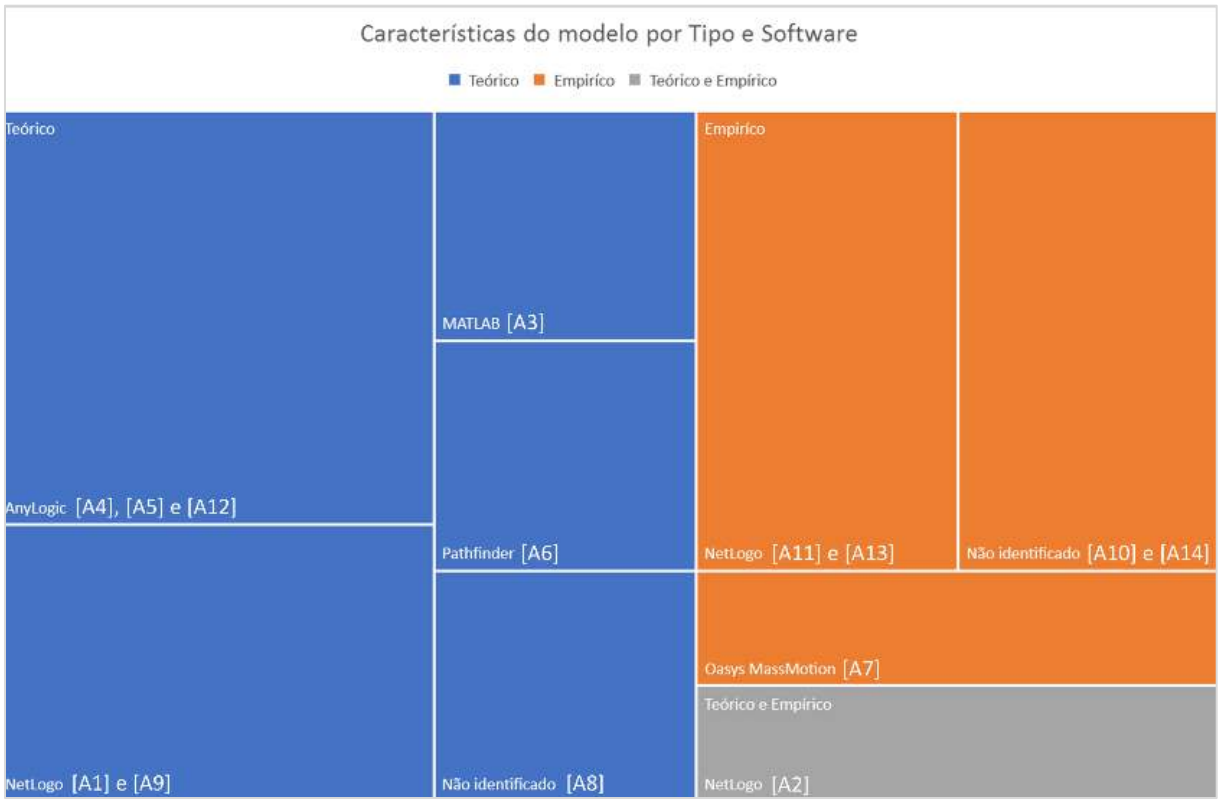
Figura 3: Artigos selecionados por código, título e citações



Fonte: Autores.

A Figura 4 categoriza os modelos apresentados em cada publicação por tipo (empírico ou teórico). Além disso, a figura identifica as plataformas de software adotadas no desenvolvimento dos modelos. Observa-se uma distribuição relativamente equilibrada de modelos empíricos e teóricos, sendo a maioria (9 pesquisas) composta por modelos teóricos.

Figura 4: Modelos identificados por tipo e software



Fonte: Autores.

Com relação as plataformas de software, observa-se que o software NetLogo se destaca, sendo utilizado por cinco artigos, dois modelos teóricos (A1 [21] e A9 [5]), dois empíricos (A11 [3] e A13 [19]) e um modelo teórico e empírico (A2 [22]). NetLogo, em especial, tem grande presença na comunidade acadêmica por se tratar de uma plataforma de software livre para modelagem baseada em agentes de fácil programação. Apesar de ter sido projetada para o ensino, tem sido cada vez mais utilizada em pesquisas [11].

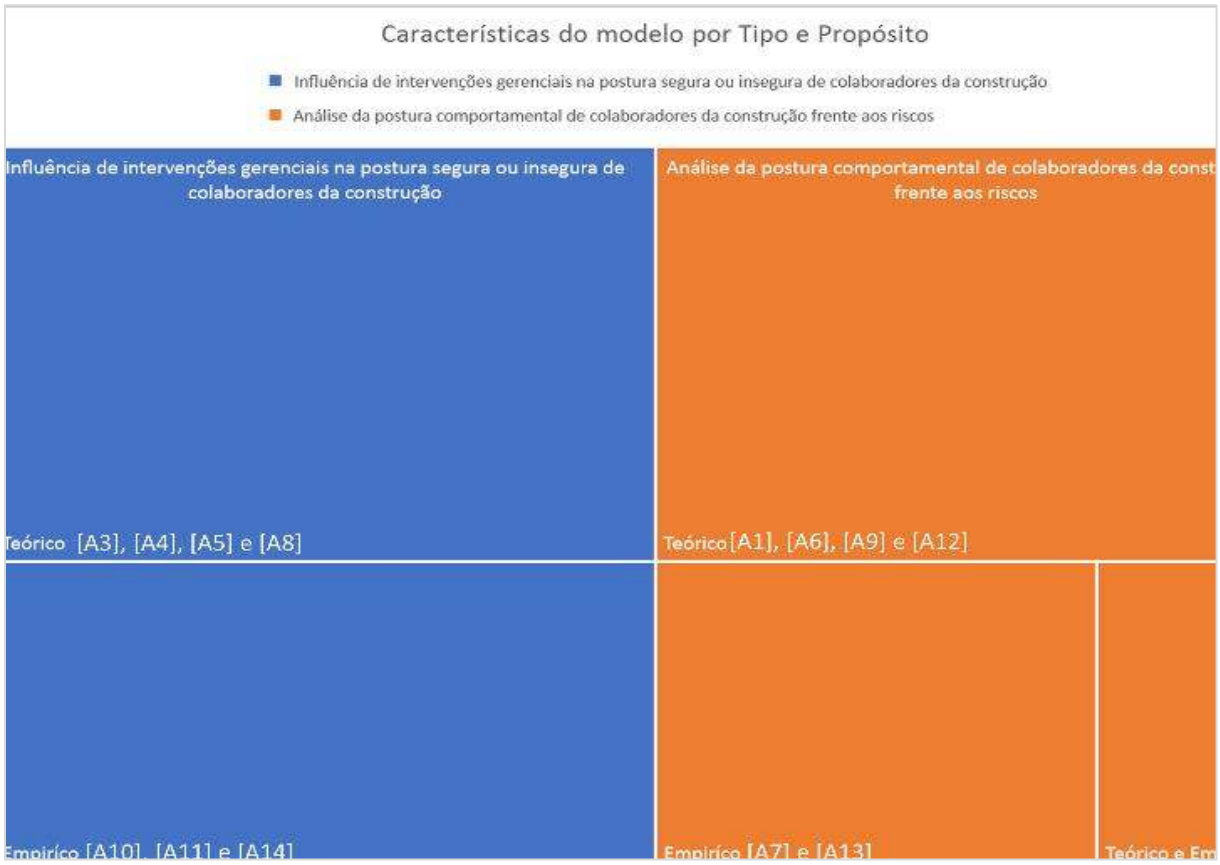
Em seguida, destaca-se o uso do software Anylogic, que foi utilizado pelos artigos A4 [6], A5 [23] e A12 [18], cujos modelos foram desenvolvidos para estudos de caso hipotéticos. Três artigos (A8 [4], A10 [24] e A14 [25]) não identificam o software adotado para desenvolver seus modelos enquanto outros três autores (A3 [26], A6 [27] e A7 [20]) utilizam softwares variados. A3 [26] utiliza o MATLAB para desenvolver um ABM que objetiva explorar os processos sociocognitivos dos trabalhadores da construção civil sob a interação com gerentes e colaboradores. O artigo A6 [27] utiliza o Pathfinder para simular a evacuação de poços de fundação profunda na presença de desastre de colapso. Já o artigo A7 [20] utiliza o Oasys MassMotion para desenvolver um modelo que estima o tempo de evacuação da mão de obra em diferentes momentos antes da execução do projeto.

Observa-se, no entanto, que a quantidade de plataformas e *toolkits* disponíveis no mercado para o desenvolvimento de ABMs é muito maior do que a evidenciada na amostra analisada [10]. 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 extensões de modelos existentes que porventura os desenvolvedores tenham utilizado como base, além da experiência anterior dos desenvolvedores em determinada linguagem de codificação.

A Figura 5 categoriza os modelos por tipo e por propósito. Em relação ao propósito dos modelos, os artigos se dividem de forma equilibrada em dois tipos de propósito: (1) influência de intervenções gerenciais na postura segura ou insegura de colaboradores da construção, e (2) análise da postura comportamental de colaboradores da construção frente aos riscos.

Figura 5: Modelos identificados por tipo e propósito



Fonte: autores.

Quatro modelos teóricos (A1 [21], A6 [27], A8 [4] e A12 [18]) buscaram explorar as causas das falhas cognitivas dos trabalhadores e entender o processo de tomada de decisão psicológica do trabalhador da construção. Os artigos A3 [26], A4 [6], A5 [23] e A9 [5], por sua vez, utilizaram modelos teóricos a fim de relacionar o comportamento dos trabalhadores com estratégias gerenciais e relações interpessoais nos canteiros de obra.

Com relação aos estudos de caso empíricos, observa-se que A7 [20] analisou o tempo de evacuação da mão de obra, A10 [24] buscou prever o comportamento inseguros das equipes de construção, A11 [3] estudou o impacto de diversos investimentos na segurança, enquanto A13 [19] analisou a gestão da segurança no desempenho da segurança e a resiliência da rede aos riscos e A14 [25] analisou a influência entre stakeholders no clima de segurança na construção.

Os modelos empíricos compreendem estudos de caso que utilizam informações de canteiros de obras reais para o desenvolvimento da simulação. Os modelos teóricos, por sua vez, produzem canteiros de obras artificiais para suas análises. O artigo A14 [25], por exemplo, baseou-se em três mega projetos de uma das maiores empresas contratantes do Oriente médio, enquanto o artigo A4 [6] utilizou dados de diferentes canteiros de obra para modelar um canteiro de obras artificial.

O modelo desenvolvido por A2 [22], por sua vez, foi categorizado como teórico e empírico ao mesmo tempo. Os autores analisaram o comportamento de trabalhadores agressivos e evasivos em torno de áreas de risco a partir de dois estudos. O primeiro estudo compreendeu um estudo hipotético, enquanto o segundo modelou um caso de terraplanagem real, cuja obra encontrava-se na fase de escavação.

O Quadro 2 categoriza os modelos desenvolvidos em cada publicação selecionada por seus conceitos de design, tais como propósito do modelo, fundamentação teórica e/ou empírica, e características dos agentes. O quadro apresenta também o processo construtivo objeto de análise do modelo, quando especificado, além da fonte dos dados adotados para fundamentar o design do modelo.

Enquanto metade dos artigos (A1 [21], A2 [22], A6 [27], A7 [20], A8 [4], A12 [18] e A13 [19]) analisa o impacto das intervenções gerencias no comportamento dos trabalhadores, a outra metade (A3 [26], A4 [6], A5 [23], A9 [5], A10 [24], A11 [3] e A14 [25]) buscou compreender a postura comportamental dos colaboradores frente à risco e o seu processo de decisão. O modelo apresentado no artigo A8 [4], por exemplo, foi pensado para avaliar como o processo sociocognitivo de comportamento de segurança dos trabalhadores interagem com diferentes intervenções de gestão da segurança e diferentes condições de risco do local.

Todas as 14 pesquisas utilizaram fundamentação teórica para o desenvolvimento do modelo. Somente 6 artigos (A1 [21], A2 [22], A3 [26], A4 [6], A6 [27] e A8 [4]) utilizaram conjuntamente evidências teóricas e empíricas para o desenvolvimento da sua estrutura de modelagem. O artigo A1 [21], por exemplo, utilizou a teoria do comportamento planejado para definir o processo de tomada de decisão psicológica do comportamento de segurança do trabalhador da construção, bem como os efeitos construtivos-educativos e fatores de segurança. Além disso, o modelo adota evidências empíricas coletadas a partir de questionários e entrevistas feitos com colaboradores do setor produtivo e gerencial em canteiros de obra.

Quadro 2: Conceitos de design dos modelos identificados

Código	Propósito do modelo		Fundamentação		Fonte de dados			Agentes						Processo construtivo em análise
	Influência de intervenções gerenciais na postura segura ou insegura de colaboradores da construção	Análise da postura comportamental de colaboradores da construção frente aos riscos	Teórica	Empírica	Bibliografia	Survey / Entrevistas	Evidências Empíricas do(s) autor(es)	Equipe operacional	Equipe gerencial	Maquinário	Companhia de Seguros	Governo	Equipe de Projeto	
A1		•	•	•	•	•		•						Não especificado
A2		•	•	•	•		•	•						Terraplanagem
A3	•		•	•	•	•	•	•	•					Não especificado
A4	•		•	•	•	•		•	•					Paredes de concreto
A5	•			•	•			•	•					Não especificado
A6		•	•	•	•			•						Poços de fundação profundos
A7		•		•			•	•						Evacuação (diversos cenários)
A8	•		•	•	•		•	•	•					Não especificado
A9		•		•	•			•		•				Execuçao de armadura (transporte vertical com guindastes)
A10	•			•		•	•	•	•					Não especificado
A11	•			•		•		•	•					Execuçao de armadura (fixação de vergalhões)
A12		•		•			•	•		•				Terraplanagem
A13		•		•		•		•						Expansão e modernização de rede para produção e captação de gás, construção de via
A14	•			•		•		•	•	•	•	•	•	Não especificado

Fonte: autores.

A principal fonte de dados para o desenvolvimento da modelagem baseada em agentes foi a bibliografia (Quadro 2). Todos os 14 artigos utilizaram teorias e evidências da literatura para fundamentar as decisões conceituais adotadas em seus modelos. Observa-se, contudo, que o artigo A5 [23] utilizou dados empíricos identificados na bibliografia para analisar como diferentes estratégias de gerenciamento de segurança influenciam as decisões dos indivíduos e como estes observam e aprendem com as violações de segurança dos colegas de trabalho com diferentes níveis de risco.

S*urveys* e entrevistas também foram bastante adotadas como fonte de evidências. Metade dos artigos selecionados (A1 [21], A3 [26], A4 [6], A10 [24], A11 [3], A13 [19] e A14 [25]) adotou estes métodos como fontes de dados. O artigo A13 [19], por exemplo, utiliza dados empíricos coletados por *surveys*/entrevistas que foram aplicadas em colaboradores do setor executivo e gerencial, obtendo taxa de resposta de 84%. Estes dados foram utilizados para desenvolver um modelo para avaliar o desempenho da segurança em três projetos de grande porte.

O uso de evidências empíricas com base na experiência dos autores e dados de projetos reais, por outra parte, também se destaca, sendo adotado por 6 estudos (A2 [22], A3 [26], A7 [20], A8 [4], A10 [24] e A12 [18]). O artigo A10 [24], em especial, utiliza dados empíricos coletados por *surveys*/entrevistas e evidências empíricas do autor. Através da base histórica prática da construção civil, o autor realizou uma análise sistemática dos comportamentos inseguros em equipes de construção e utilizou pesquisas empíricas para estabelecer a base para a modelagem baseada em agentes. Afim de estudar os efeitos de diferentes estratégias de incentivo no comportamento seguro das equipes de construção em diferentes cenários de gestão.

Do total de modelos identificados, todos adotaram colaboradores do setor de produção (equipe operacional, a exemplo de pedreiros e armadores) como agentes. Sendo que 7 modelos (A3 [26], A4 [6], A5 [23], A8 [4], A10 [24], A11 [3] e A14 [25]) adotaram tanto colaboradores do setor de produção (equipe operacional) quanto colaboradores do setor gerencial (equipe gerencial). Em todos esses casos, observa-se que o propósito do modelo é analisar a influência de intervenções gerenciais na postura segura ou insegura de colaboradores da construção.

Dois modelos em particular utilizam tanto colaboradores do setor de produção (equipe operacional) quanto máquinas como agentes (A9 [5] e A12 [18]). Em ambos os casos se observa que a interação do colaborador com o maquinário está relacionada diretamente com o risco de acidentes. A9 [5], por exemplo, simula um canteiro de obras cujos operários reforçam barras de aço com probabilidade de sofrerem acidentes relacionados a guindastes.

Somente um artigo (A14 [25]) adotou uma maior variedade de agentes em seu conceito de design, sendo estes a equipe operacional, a equipe gerencial, o maquinário, a companhia de seguros, o governo e a equipe de projeto. O modelo desenvolvido se mostrou capaz de simular as complexas interações entre os vários stakeholders em um mercado de construção e prever a evolução do nível de conscientização de segurança.

O tipo de processo construtivo em análise foi especificado em 9 artigos (A2 [22], A4 [6], A5 [23], A6 [27], A7 [20], A9 [5], A11 [3], A12 [18] e A13 [19]).

Dois artigos utilizaram obras de terraplanagem (A2 [22] e A12 [18]) para a simulação. A2 [22] avalia a produtividade e segurança dos canteiros de obras ao considerar os comportamentos naturais dos trabalhadores em relação a vários obstáculos do local. Por outro lado, A12 [18] elabora um estudo de caso hipotético de terraplanagem para que os gerentes utilizem o modelo de simulação híbrido para selecionar intervenções adequadas para equilibrar a produção e os objetivos de segurança.

Dois artigos estudaram a execução de armadura (A9 [5] e A11 [3]). O modelo desenvolvido em A9 [5] simula o processo de reforço de barras de aço, a fim de investigar os efeitos de duas ações distintas de apoio aos colaboradores em três níveis de severidades do desempenho de segurança de um projeto de construção. A11 [3] desenvolveu um ABM para investigar como diferentes investimentos em segurança interagem com distintos parâmetros e como estes podem afetar o desempenho de segurança, a fim de otimizar investimentos em diferentes cenários de construção.

Finalmente, três artigos (A4 [6], A6 [27] e A13 [19]) focaram em atividades diversas. A4 [6] escolheu o processo de paredes de concreto para estudar o impacto do gerenciamento no comportamento dos trabalhadores; A6 [27] fez o estudo da evacuação de poços de fundação profundos; e A13 [19] analisou uma série de processos (expansão e modernização de rede para produção e captação de gás, construção de via expressa e estação de enxofre e dutos) para estudar as interações relacionadas à segurança entre as equipes de construção.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na revisão bibliográfica proposta, foi possível traçar um panorama atual sobre o uso de modelagem baseada em agentes para análise da segurança em canteiros de obras.

Como tendências, observam-se o desenvolvimento de modelos teóricos que produzem canteiros de obras artificiais, e o uso de literatura e de surveys / entrevistas como fontes de evidências empíricas e teóricas para a fundamentação conceitual das estruturas dos modelos. Os propósitos das modelagens desenvolvidas centram-se em entender o comportamento inseguro dos trabalhadores nos canteiros de obra, em que, em muitos casos, busca-se identificar e/ou otimizar ações gerenciais para a antecipação de riscos e redução do número de acidentes nos canteiros.

Como lacunas, observa-se a necessidade de se ampliar as análises para outros tipos de risco, além de acidentes com máquinas, com guindastes ou caminhões, ou desmoronamento, considerando distintas configurações de canteiro e processos produtivos.

Dessa forma, a partir das pesquisas analisadas, a modelagem baseada em agentes mostrou-se uma metodologia capaz de permitir a representação simplificada da realidade para análise de sistemas complexos, como comprovado pelos artigos [A5], [A6] e [A9].

Destaca-se que 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 resolução espacial, escala de tempo, interações dos agentes (regras físicas, e ações / decisões), abordagens para definição do comportamento humano, e procedimentos para calibração e validação.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **PIB Brasil e Construção Civil – PIB e Investimento**. 2022. Disponível em: http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil. Acesso em: 28 março 2022.

[2] SmartLab. **Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho**. Frequência de Notificações –CAT. 2022. Disponível em: https://smartlabbr.org/sst/localidade/0. Acesso em: 28 março 2022.

[3] LU, M.; CHEUNG, C. M.; LI, H.; HSU, S. C. Understanding the relationship between safety investment and safety performance of construction projects through agent-based modeling. Accident Analysis & Prevention, v. 94, p. 8-17, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.014

[4] CHOI, B.; LEE, S. 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

[5] JI, T.; WEI, H.; CHEN, J. 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

[6] ZHANG, P.; LI, N.; JIANG, Z.; FANG, D.; ANUMBA, C. 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

[7] DILL, A. R. **VIDA: Modelagem Baseada em Agentes para Simulação de Violência Doméstica**. 2020. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/226454/Resumo_68405.pdf?sequence=1. Acesso em: 7 dezembro 2021.

[8] DE LIMA, T. F. M.; FARIA, S. D.; SOARES FILHO, B. S.; DE SENNA CARNEIRO, T. G. Modelagem de sistemas baseada em agentes: Alguns conceitos e ferramentas. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal Brasil, **Anais [...]** Natal, 2009, p. 25-30.

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

[10] 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.

[11] THIELE, J. C.; KURTH, W.; GRIMM, V. Facilitating parameter estimation and sensitivity analysis of agent-based models: A cookbook using NetLogo and R. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 17, n. 3, p. 11, 2014. DOI: 10.18564/jasss.2503

[12] ZIMBRES, R. A. Modelagem baseada em agentes: Uma terceira maneira de se fazer ciência. **Anais do 30º Encontro da ANPAD**, Salvador, 2006.

[13] TESFATSION, L. 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

[14] KHODABANDELU, A.; PARK, J. 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

[15] SONG, X.; PENA-MORA, F.; SHEN, C.; ZHANG, Z.; XU, J. Modelling the effect of multi-stakeholder interactions on construction site layout planning using agent-based decentralized optimization. **Automation in Construction**, v. 107, p. 102927, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102927

[16] XUE, X., LI, X., SHEN, Q., & WANG, Y. An agent-based framework for supply chain coordination in construction. **Automation in construction**, v. 14, n. 3, p. 413-430, 2005. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.010

[17] AGOSTINHO, H. L.; GRANJA, A. D. Comparação de Modelos Contratuais na Construção Civil: Um Mapeamento Sistemático de Literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE

TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

[18] GOH, Y. M.; ALI, MOHAMED J. A. 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

[19] WEHBE, F.; AL HATTAB, M.; HAMZEH, F. 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

[20] MARZOUK, M.; AL DAOUR, I. 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

[21] HE, C.; JIA, G.; MCCABE, B.; CHEN, Y.; ZHANG, P.; SUN, J. Psychological decision-making process of construction worker safety behavior: an agent-based simulation approach. **International journal of occupational safety and ergonomics**, n. just-accepted, p. 1-27, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/10803548.2021.2022351

[22] BINHOMAID, O.; HEGAZY, T. 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

[23] LIANG, H.; LIN, K.; ZHANG, S. 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

[24] LI, Z.; LV, X.; ZHU, H.; SHENG, Z. 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

[25] AWWAD, R.; SHDID, C. A.; TAYEH, R. Agent-based model for simulating construction safety climate in a market environment. **Journal of computing in civil engineering**, v. 31, n. 1, p. 05016003, 2017. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000612

[26] YE, G.; YUE, H.; YANG, J.; LI, H.; XIANG, Q.; FU, Y.; CUI, C. 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

[27] YANG, W.; HU, Y.; HU, C.; YANG, M. 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