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]TÉCNICAS APLICADAS À OTIMIZAÇÃO DE CANTEIROS DE OBRAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Techniques applied to the optimization of construction sites: A systematic literature review.

Jáder Vieira Loiola Macêdo
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | jaderloiola@live.com

Rayara Falkenstins Gois Mendes
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | rayarafalkenstins@yahoo.com.br

Vanessa Ribeiro Campos
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | vanessa.campos@ufc.br

José de Paula Barros Neto
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | jpbarros@ufc.br

RESUMO

O objetivo da pesquisa é realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) para avaliar como a otimização dos canteiros de obras impacta em fatores como custo, deslocamento e segurança. Neste estudo foi utilizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), utilizando-se a bases de dados Web of Science (WoS), Science Direct e Scopus, pesquisando os termos “site layout” e “optimization”. Após a seleção dos artigos, o conteúdo foi analisado para buscar quais artigos têm aderência ao propósito da pesquisa, resultando então em 63 artigos que tratam abordam o assunto. Foram identificadas diversas técnicas que podem otimizar os canteiros, entre elas as simulações matemáticas e computacionais para cálculo de distâncias, algoritmos para redução de tempo e custo, entre outros. Os algoritmos genéticos foram os mais utilizados nas otimizações, principalmente para redução de deslocamentos internos no canteiro, em seguida o uso do Business Information Modelling (BIM) para modelar o canteiro e prever situações de incompatibilidade na obra. De acordo com os artigos analisados as técnicas de otimização conseguem reduzir custos ao reduzir, principalmente, os deslocamentos internos, permitindo uma melhor distribuição espacial e equidistante no canteiro de obra.

Palavras-chave: Canteiro de obra; Construção civil; Otimização; Revisão Sistemática de Literatura.

ABSTRACT

The objective of the research is to carry out a Systematic Literature Review (SLR) to evaluate how the optimization of construction sites impacts on factors such as cost, displacement and safety. In this study, a Systematic Literature Review (SLR) was used, using the Web of Science (WoS), Science Direct and Scopus databases, searching for the terms “site layout” and “optimization”. After selecting the articles, the content was analyzed to find which articles adhere to the purpose of the research, resulting in 63 articles that deal with the subject. Several techniques were identified that can optimize the construction sites, including mathematical and computational simulations for calculating distances, algorithms for reducing time and cost, among others. Genetic algorithms were the most used in optimizations, mainly to reduce internal displacements in the construction site, followed by the use of Business Information Modeling (BIM) to model the construction site and predict situations of incompatibility in the work. According to the analyzed articles, optimization techniques manage to reduce costs by reducing, mainly, internal displacements, allowing a better spatial and equidistant distribution on the construction site.

Keywords: *Construction site; Civil construction; Optimization; Systematic Literature Review.*

1 INTRODUÇÃO

Leiautes ideais de canteiros de obras devem se propor a melhorar requisitos, geralmente se propõe a aumentar a produtividade de um projeto de construção e o nível de segurança. Assim, planejar de forma eficaz o leiaute do canteiro é importante para o sucesso de da obra (NING; LAM; LAM, 2010).

A concepção de um projeto de canteiro de obras é uma atividade importante para todo o ciclo da obra, mas ainda não se dá a devida importância que merece. As obras podem ser de dois tipos, horizontais e verticais, e para cada tipo o canteiro deve atender a suas especificidades. Os canteiros em si já são objetivos únicos, pois variam de obra por obra e devem sempre levar em conta o projeto arquitetônico, instalações provisórias, estimativa do pico máximo de operários, proximidade e compatibilidade entre as diferentes áreas da obra,

[1]MACÊDO, J.V.L.; MENDES, R.F.G.; CAMPOS, V.R.; BARROS NETO, J.P. Técnicas aplicadas à otimização de canteiros de obras: Uma revisão sistemática de literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

quantitativo de materiais que serão adquiridos, estimativa da área ocupada por equipamentos estacionários e dimensão dos veículos que circularão na obra (VIEIRA, 2006).

Dada a importância do tema, o objetivo desta pesquisa é, realizando uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), analisar a produção científica sobre otimização de canteiros de obras para responder a seguinte pergunta: como a otimização de canteiros de obras influenciam em fatores que impactam as obras?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um canteiro com bom planejamento permite uma fácil movimentação de materiais, pessoas e equipamentos, minimiza os congestionamentos causados por estoques, permite fácil acesso às pessoas, materiais e melhora a segurança (MAWDESLEY; AL-JIBOURI; YANG, 2002).

Dentre dos arranjos utilizados no mercado, os arranjos funcionais se aplicam a construção civil e planejamento urbano. Os canteiros de obras são organizados de tal forma que áreas com processos funcionais estejam próximas, como a central de argamassa próxima aos estoques de matéria-prima (THOMAS; ELLIS JR, 2017).

Há métodos de otimização que podem ser utilizados nos canteiros, como: algoritmos, simulações e cálculos matemáticos. Algoritmos genéticos têm se mostrado muito eficientes nesta tarefa, pois executam vários vetores simultaneamente, configurando parâmetros superiores para ajudar outras variáveis e estabelecer os valores os mínimos desejáveis (STORN; PRICE, 1997).

3 METODOLOGIA

Para a realização da RSL, foram escolhidas palavras-chave que apresentam maior aderência ao objetivo da pesquisa que é “quais as técnicas mais utilizadas para otimização de canteiros de obras?”. Desta forma, as palavras-chave utilizadas para caracterizar a pesquisa foram “*site layout*” e “*optmization*”, para identificar a artigos que relacionassem otimização de canteiros de obra.

Foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* (WOS), de propriedade da *Clarivate Analytics* PLC, e *Science Direct* e Scopus de propriedade da Elsevier.

Na pesquisa com base no WOS utilizando “*site layout optimization*” foram obtidos 837 resultados, aplicou-se, então, o filtro de categorias *Construction Building Technology*, reduzindo para 138 artigos localizados.

Utilizando a base Scopus a pesquisa foi repetida, retornando 10871 resultado, em seguida foram aplicados os seguintes filtros: (1) *subject area engineering*; (2) *document type article*; (3) *keyword construction industry*; e por último (4) *source type jornal*, retornando, então, 178 resultados.

Na base *Science Direct* foi realizada a pesquisa com os mesmos termos, que retornou 620 resultados, ao se aplicar o filtro de *engineering* em *subject areas* o resultado foi 334 resultados.

Após a etapa de pesquisas, foram aplicados três filtros, o primeiro filtro consistiu em remover artigos duplicados, no segundo filtro foi realizada a análise do título da publicação e palavras-chave e removidos os artigos que não tinham aderência ao objetivo da pesquisa, o terceiro filtro, foi a análise dos resumos dos artigos, e por último a análise do conteúdo dos artigos, desta forma, reduzindo a lista de 650 para apenas 63 publicações que estavam relacionadas a otimização de canteiros, conforme Tabela 1. A pesquisa foi realizada em junho de 2022.

Tabela 1: Palavras-chave utilizadas, quantidade de resultados obtidos e filtros aplicados na RSL.

	FORMA DA PESQUISA	RESULTADOS	ACUMULADO
Pesquisas	site layout optimization - WOS	+ 138	138
	site layout optimization - Scopus	+ 178	316
	site layout optimization - Science Direct	+ 334	650
Filtros	Remoção de duplicidades	- 179	471
	Leitura dos títulos	- 379	92
	Análise do resumo	- 29	63

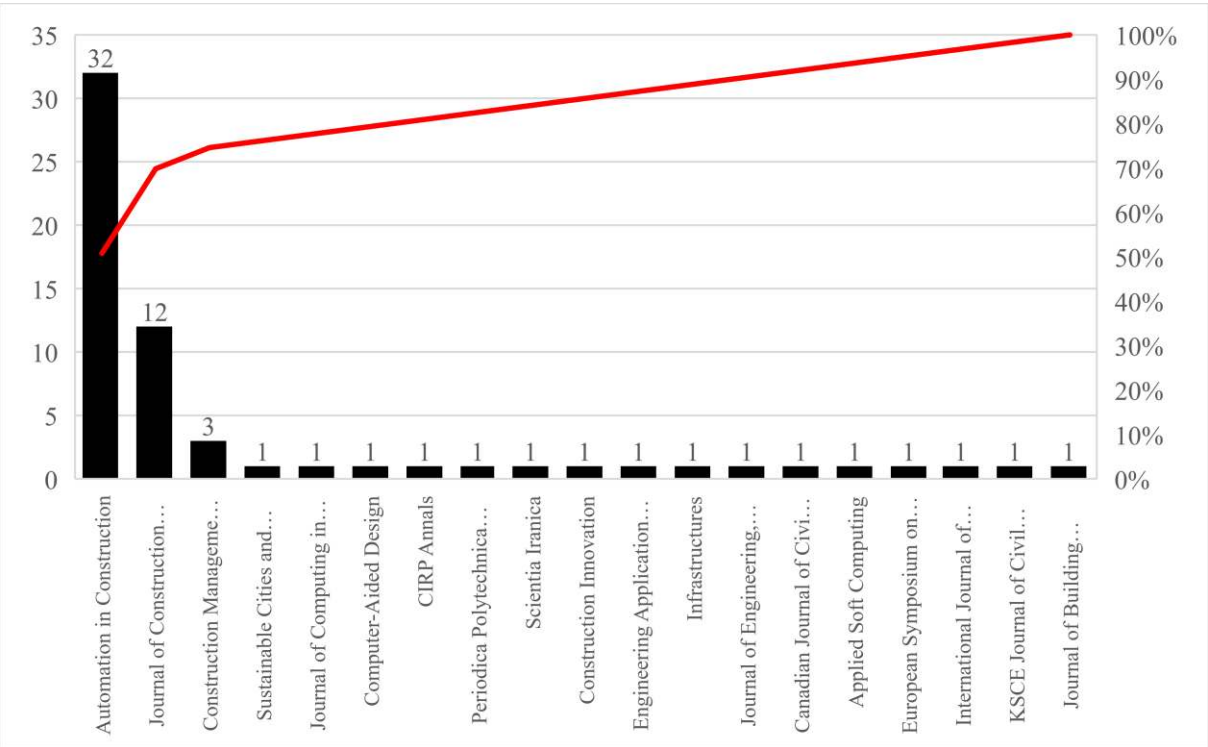
Fonte: Os autores.

4 RESULTADOS

4.1 Características das Publicações

Após analisar os 63 artigos obtidos na fase de pesquisa, identificou-se que foram publicados em 19 periódicos distintos, conforme verifica-se na Figura 1: Análise de Pareto sobre a quantidade de artigos publicados por periódico., e dentre estes periódicos, 2 foram responsáveis por 69,84% das publicações, são eles: *Automation in Construction* e *Journal of Construction Engineering and Management*.

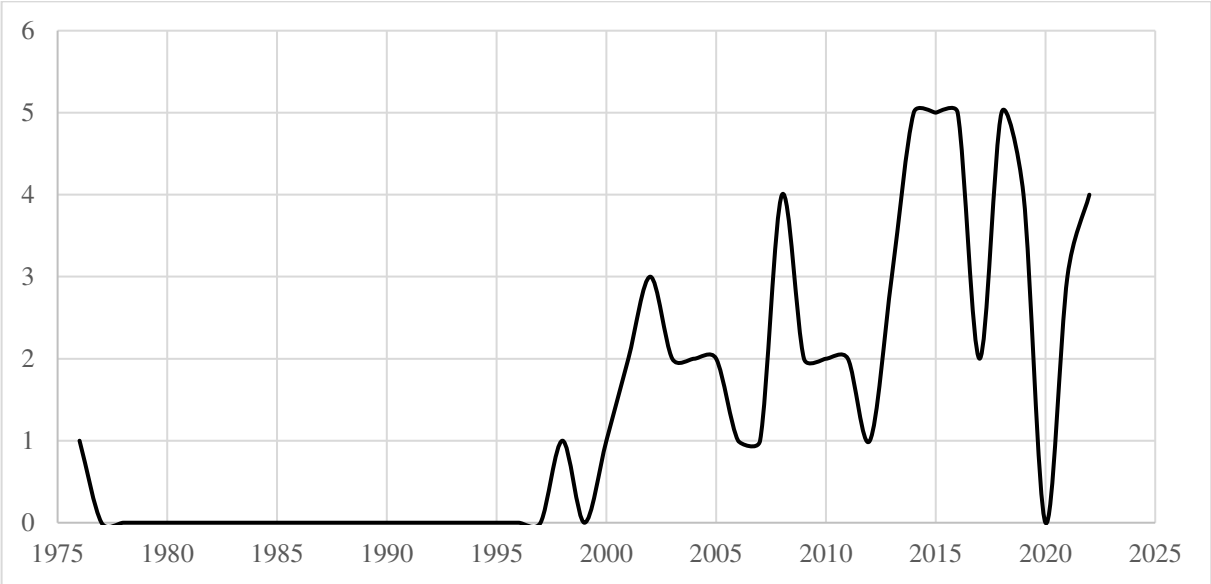
Figura 1: Análise de Pareto sobre a quantidade de artigos publicados por periódico.



Fonte: Os autores.

Foi realizada uma análise sobre a quantidades de publicações ao longo dos anos, conforme Figura 2, e percebe-se um interesse crescente sobre o tema abordado com tendência de aumento a partir dos anos 2000.

Figura 2: Quantidade de publicações sobre otimização de canteiros por ano.

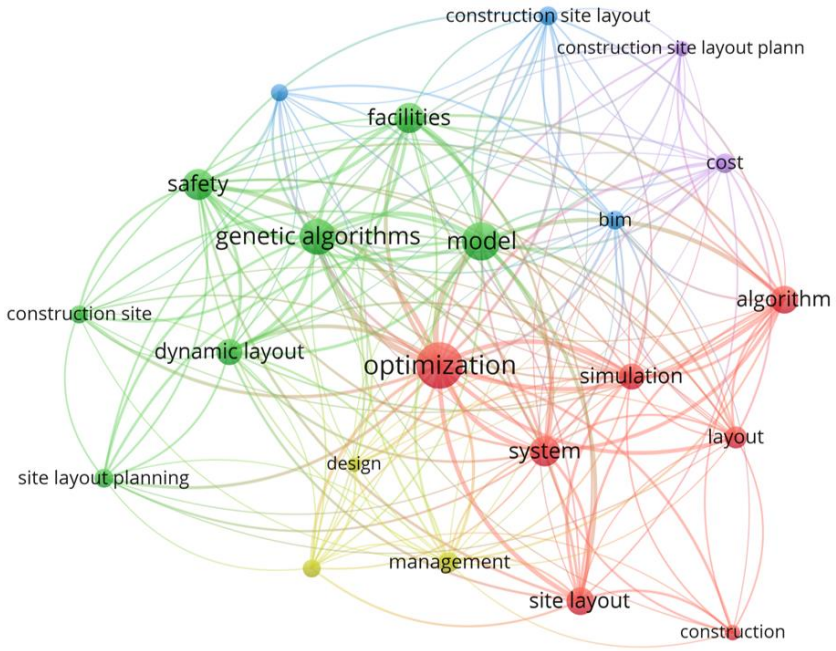


Fonte: Os autores.

Analisou-se, ainda, quais as palavras-chave que mais ocorreram entre os artigos selecionados, conforme Figura 3, e quais de quais países são os autores envolvidos nestas publicações, conforme **Fonte**: Os autores.

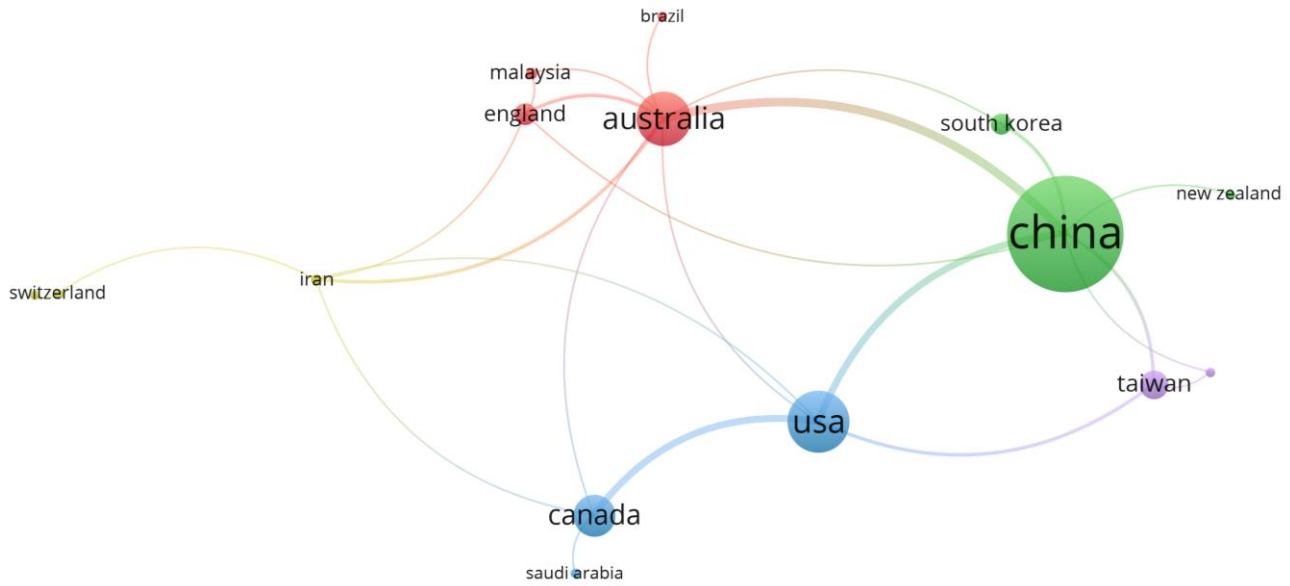
Figura 4.

Figura 3: Palavras-chave associadas a otimização de canteiros.



Fonte: Os autores.

Figura 4: Países envolvidos nas publicações analisadas.



Fonte: Os autores.

4.2 OTIMIZAÇÃO DE CANTEIROS

Os artigos analisados se propõem a otimizar os canteiros de obras com objetivos específicos. A utilização do *Business Intelligence Model* (BIM) foi utilizada com diversas finalidades, como: aumentar a segurança nos canteiros com a otimização do leiaute que tornasse mais seguro aos colaboradores (ZAVARI et al., 2020a; ZAVARI et al., 2020b); redução dos tempos de viagem nos deslocamentos internos na ordem de 13,5% (HAMMAD et al., 2016; KUMAR; CHENG, 2015); minimização dos transportes de materiais (BORTOLINI; FORMOSO; VIANA, 2019; TAO et al., 2022); e redução dos custos, seja por espaços mais bem adaptados à real necessidade, seja por redução dos transportes de materiais ou diminuição dos tempos de deslocamento (LE; DAO; CHAABANE, 2019; LI; ANSON; LI, 2001; SCHWABE; TEIZER; KÖNIG, 2019).

Outros autores focaram em otimizar os canteiros com foco na análise de risco e segurança dos mesmos (ABUNE'MEH, M. et al., 2016), qual a relação entre segurança e custo no canteiro (EL-RAYES; KHALAFALLAH, 2005) e como otimizar essa relação utilizando algoritmo genético (LU; ZHU, 2021).

Foi utilizada, também, técnicas de otimização matemáticas, fazendo simulações e calculando as distâncias percorridas em diferentes leiautes (EASA; HOSSAIN, 2008), analisando o custo destes deslocamentos (HAMMAD; AKBARNEZHAD; REY, 2016) e qual a implicação na segurança conforme essas distâncias percorridas (YI; CHI; WANG, 2018).

Com foco em redução dos tempos de deslocamento, alguns autores utilizaram técnicas de algoritmos para reduzir esses tempos (LAM; NING; LAM, 2009) e avaliar, ao mesmo tempo, o impacto no custo (PETROUTSATOU et al., 2021). Analisou-se, ainda, a correlação entre segurança e tempo de deslocamento (SANAD; AMMAR; IBRAHIM, 2008; SOLTANI; FERNANDO, 2004).

Jiand e Nee (2013) utilizaram uma abordagem pouco convencional, a utilização de realidade aumentada juntamente com algoritmo genético, para avaliar qual o melhor leiaute que reduziria os deslocamentos.

Razavialavi e Abourizk (2015, 2022) utilizaram simulações computacionais para avaliar o impacto no custo dependendo do tipo de leiaute proposto, e que os resultados dessas simulações podem ajudar os gestores a tomar decisões sobre as instalações.

Alguns trabalhos utilizaram otimizações multiobjetivos como: segurança e custo nos canteiros, e obtiveram resultados positivos aumentando a segurança e reduzindo custos na obra (NING; LAM, 2013; NING; LAM; LAM, 2010; SONG et al., 2019); segurança e tempos de deslocamento (LI et al., 2015); segurança e minimização de transportes de materiais ou equipamentos (KHALAFALLAH; EL-RAYES, 2011); redução dos

transportes utilizando a lógica fuzzy (XU; LI, 2012); e redução dos transportes utilizando algoritmo genético (KAVEH; RASTEGAR MOGHADDAM; KHANZADI, 2018), algoritmo da otimização da colônia de formigas (NING; LAM; LAM, 2011) e algoritmo de enxame de abelhas (YAHYA; SAKA, 2014).

Utilizando a lógica fuzzy como pilar central do estudo, foi avaliado o impacto no custo e como ele pode ser reduzido com esta técnica (SAFARZADEH; KOOSHA, 2017; XU; SONG, 2014), qual o impacto na segurança (LAM; TANG; LEE, 2005) e qual o impacto nos cronogramas das obras (ELBELTAGI et al., 2001; NING et al., 2016).

Há estudos que propõem que os canteiros devem ser dinâmicos, ou seja, devem se moldar de acordo com a fase da obra, com isso reduzindo custo (EL-RAYES; SAID, 2009; HUANG; WONG, 2015; SAID; EL-RAYES, 2013) e reduzindo deslocamentos (ABOTALEB; NASSAR; HOSNY, 2016; MAWDESLEY; AL-JIBOURI, 2003; ZHANG; YU; 2021).

Com foco na redução de custos, foi possível reduzi-los utilizando algoritmo genético (CHEUNG; TONG; TAM, 2002; HONG et al., 2014; RAZAVIALAVI; ABOURIZK, 2017; WONG; FUNG; TAM, 2010) ou avaliá-los por meio de simulações e saber qual o impacto no projeto (SADEGHPOUR; ANDAYESH, 2015; SCHMIDT-TRAUB et al., 1998).

A maioria dos artigos utiliza algoritmo genético para otimizar os canteiros com foco em objetivos já citados, porém há foco, também, em otimização de espaço livre (EL ANSARY; SHALABY, 2014), redução de transporte em construções por andares (JANG; LEE; CHOI, 2007), planejamento do canteiro (KAVEH et al., 2018; MAWDESLEY; AL-JIBOURI; YANG, 2002; OSMAN; GEORGY; IBRAHIM, 2003), dimensionamento das áreas de depósito dos canteiros (LI; LOVE, 2000; LIANG; CHAO, 2008; ZHANG; WANG, 2008; ZHANG; LIU; COBLE, 2002) e resolução de conflitos entre as partes envolvidas (SONG et al., 2018a).

Por fim, alguns autores focaram na redução dos transportes de materiais e pessoas nas obras, calculando as distâncias utilizando o CAD (HUCKLE; BESANT, 1976; SADEGHPOUR; MOSELHI; ALKASS, 2004, 2006), criando um canteiro dinâmico ao longo da obra (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2014) ou analisando o conflito entre as áreas de estoque e a logística de entrega dos materiais (SONG et al., 2018b).

É possível resumir o macro objetivo desses artigos na Tabela 2.

Tabela 2: Matriz de técnica e objetivos na otimização de canteiros de obras.

Artigos	BIM	Segurança	Red. Desl. Internos	Red. Transp. de Material	Red. de Custos	Algoritmo	Simulações	Realidade Aumentada	Lógica Fuzzy	Red. de Prazo	Modelos Dinâmicos	Plan. do Canteiro	Dim. de Depósito	Res. de Conflitos	AutoCAD
ABOTALEB; NASSAR; HOSNY, 2016			✓								✓				
ABUNE'MEH, M. et al., 2016		✓													
ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2014			✓	✓							✓				✓
BORTOLINI; FORMOSO; VIANA, 2019	✓			✓											
CHEUNG; TONG; TAM, 2002					✓	✓									
EASA; HOSSAIN, 2008			✓				✓								
EL ANSARY; SHALABY, 2014						✓						✓			
ELBELTAGI et al., 2001									✓	✓					
EL-RAYES; KHALAFALLAH, 2005		✓			✓										
EL-RAYES; SAID, 2009					✓						✓				
HAMMAD et al., 2016	✓		✓												
HAMMAD; AKBARNEZHAD; REY, 2016			✓		✓		✓								
HONG et al., 2014					✓	✓									
HUANG; WONG, 2015					✓						✓				
HUCKLE; BESANT, 1976			✓	✓											✓
JANG; LEE; CHOI, 2007				✓		✓									
JIAND; NEE, 2013			✓			✓		✓							
KAVEH et al., 2018						✓						✓			
KAVEH; RASTEGAR MOGHADDAM; KHANZADI, 2018			✓	✓		✓									
KHALAFALLAH; EL-RAYES, 2011		✓		✓											

KUMAR; CHENG, 2015	✓		✓												
LAM; NING; LAM, 2009			✓			✓									
LAM; TANG; LEE, 2005		✓							✓						
LE; DAO; CHAABANE, 2019	✓				✓										
LI et al., 2015		✓	✓												
LI; ANSON; LI, 2001	✓				✓										
LI; LOVE, 2000						✓							✓		
LIANG; CHAO, 2008						✓							✓		
LU; ZHU, 2021		✓			✓	✓									
MAWDESLEY; AL-JIBOURI, 2003			✓								✓				
MAWDESLEY; AL-JIBOURI; YANG, 2002						✓						✓			
NING et al., 2016									✓	✓					
NING; LAM, 2013		✓			✓										
NING; LAM; LAM, 2010		✓			✓										
NING; LAM; LAM, 2011			✓	✓		✓									
OSMAN; GEORGY; IBRAHIM, 2003						✓						✓			
PETROUTSATOU et al., 2021					✓	✓									
RAZAVIALAVI; ABOURIZK, 2015					✓		✓								
RAZAVIALAVI; ABOURIZK, 2017					✓	✓									
RAZAVIALAVI; ABOURIZK, 2022					✓		✓								
SADEGHPOUR; ANDAYESH, 2015					✓		✓								
SADEGHPOUR; MOSELHI; ALKASS, 2004			✓	✓											✓
SADEGHPOUR; MOSELHI; ALKASS, 2006			✓	✓											✓
SAFARZADEH; KOOSHA, 2017					✓				✓						

SAID; EL-RAYES, 2013					✓						✓				
SANAD; AMMAR; IBRAHIM, 2008			✓		✓	✓									
SCHMIDT-TRAUB et al., 1998					✓		✓								
SCHWABE; TEIZER; KÖNIG, 2019	✓				✓										
SOLTANI; FERNANDO, 2004			✓		✓	✓									
SONG et al., 2018a						✓								✓	
SONG et al., 2018b			✓	✓									✓	✓	✓
SONG et al., 2019		✓			✓										
TAO et al., 2022	✓			✓											
WONG; FUNG; TAM, 2010					✓	✓									
XU; LI, 2012			✓	✓					✓						
XU; SONG, 2014					✓				✓						
YAHYA; SAKA, 2014			✓	✓		✓									
YI; CHI; WANG, 2018		✓	✓				✓								
ZAVARI et al., 2020a	✓	✓													
ZAVARI et al., 2020b	✓	✓													
ZHANG; LIU; COBLE, 2002						✓							✓		
ZHANG; WANG, 2008						✓							✓		
ZHANG; YU; 2021			✓								✓				

Fonte: Os autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os canteiros de obras são locais que requerem muita atenção e cuidado, visto que apresentam riscos à saúde e integridade física dos trabalhadores. Dessa forma, é necessário que o leiaute e a gestão do canteiro sejam eficientes para garantir a segurança e a qualidade da obra. Nesse sentido, os artigos analisados neste texto apresentaram diferentes abordagens para otimizar o leiaute dos canteiros de obras, utilizando técnicas como o *Business Intelligence Model* (BIM), otimizações matemáticas, algoritmos genéticos, lógica *fuzzy*, realidade aumentada e otimizações multiobjetivos.

O uso de BIM foi uma das técnicas mais comuns encontradas nos artigos. Essa técnica permitiu a otimização do leiaute, reduzindo o tempo de deslocamento interno, minimizando o transporte de materiais e, consequentemente, reduzindo os custos da obra. Além disso, o BIM permitiu aumentar a segurança nos canteiros, pois foi possível analisar os riscos e criar um leiaute que reduzisse a probabilidade de acidentes.

Os estudos também utilizaram técnicas de otimização matemáticas para simular diferentes leiautes e calcular os custos e distâncias percorridas em cada um deles. Isso possibilitou a análise dos impactos no custo e na segurança dos trabalhadores, permitindo a escolha do leiaute mais eficiente.

Os algoritmos genéticos foram utilizados em pesquisas para reduzir o tempo de deslocamento interno e avaliar o impacto no custo. A lógica *fuzzy* também foi uma técnica comum, permitindo avaliar o impacto no custo, na segurança e no cronograma das obras.

A utilização da realidade aumentada juntamente com o algoritmo genético permitiu a avaliação dos diferentes leiautes e a escolha do mais eficiente. As otimizações multiobjetivos também foram amplamente utilizadas, permitindo a escolha do leiaute que atendesse a mais de um objetivo, como redução dos custos, aumento da segurança e diminuição dos deslocamentos internos.

Por fim, alguns estudos propuseram a dinamicidade dos canteiros de obras, ou seja, a adaptação do leiaute de acordo com a fase da obra. Isso permitiu reduzir os custos e os deslocamentos internos, além de tornar o canteiro mais eficiente.

Em síntese, as diferentes abordagens utilizadas nos artigos analisados permitiram otimizar o leiaute dos canteiros de obras de forma eficiente, aumentando a segurança dos trabalhadores, reduzindo custos e diminuindo os deslocamentos internos. Cada técnica apresentada nos estudos pode ser utilizada de acordo com a necessidade e características de cada canteiro de obras, possibilitando a escolha da melhor opção para cada situação.

REFERÊNCIAS

ABOTALEB, I.; NASSAR, K.; HOSNY, O. Layout optimization of construction site facilities with dynamic freeform geometric representations. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 66, p. 15–28, jun. 2016.

ABUNE'MEH, M. et al. Optimal construction site layout based on risk spatial variability. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 70, p. 167–177, out. 2016.

ANDAYESH, M.; SADEGHPOUR, F. The time dimension in site layout planning. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 44, p. 129–139, ago. 2014.

BORTOLINI, R.; FORMOSO, C. T.; VIANA, D. D. Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. **Automation in Construction**, v. 98, p. 248–264, 2019.

CHEUNG, S.; TONG, T.; TAM, C. Site pre-cast yard layout arrangement through genetic algorithms. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 11, n. 1, p. 35–46, jan. 2002.

EASA, S.; HOSSAIN, K. New mathematical optimization model for construction site layout. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE**, v. 134, n. 8, p. 653–662, ago. 2008.

EL ANSARY, A.; SHALABY, M. Evolutionary optimization technique for site layout planningl. **SUSTAINABLE CITIES AND SOCIETY**, v. 11, p. 48–55, fev. 2014.

ELBELTAGI, E. et al. Schedule-dependent evolution of site layout planning. **Construction Management and Economics**, v. 19, n. 7, p. 689–697, 2001.

EL-RAYES, K.; KHALAFALLAH, A. Trade-off between safety and cost in planning construction site layouts. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE**, v. 131, n. 11, p. 1186–1195, nov. 2005.

EL-RAYES, K.; SAID, H. Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 2, p. 119–127, 2009.

HAMMAD, A. et al. A Computational Method for Estimating Travel Frequencies in Site Layout Planning. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 142, n. 5, maio 2016.

HAMMAD, A.; AKBARNEZHAD, A.; REY, D. A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 61, p. 73–85, jan. 2016.

HONG, W.-K. et al. Algorithms for in-situ production layout of composite precast concrete members. **Automation in Construction**, v. 41, p. 50–59, 1 maio 2014.

HUANG, C.; WONG, C. Optimisation of site layout planning for multiple construction stages with safety considerations and requirements. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 53, p. 58–68, maio 2015.

HUCKLE, P.; BESANT, C. B. Computer-aided design system for site layout. **Computer-Aided Design**, v. 8, n. 4, p. 214–218, 1 out. 1976.

JANG, H.; LEE, S.; CHOI, S. Optimization of floor-level construction material layout using Genetic Algorithms. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 16, n. 4, p. 531–545, jul. 2007.

JIANG, S.; NEE, A. Y. C. A novel facility layout planning and optimization methodology. **CIRP Annals**, v. 62, n. 1, p. 483–486, 1 jan. 2013.

KAVEH, A. et al. Charged system search and magnetic charged system search algorithms for construction site layout planning optimization. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, v. 62, n. 4, p. 841–850, 2018.

KAVEH, A.; RASTEGAR MOGHADDAM, M.; KHANZADI, M. Efficient multi-objective optimization algorithms for construction site layout problem. **Scientia Iranica**, v. 25, n. 4, p. 2051–2062, 2018.

KHALAFALLAH, A.; EL-RAYES, K. Automated multi-objective optimization system for airport site layouts. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 20, n. 4, p. 313–320, jul. 2011.

KUMAR, S.; CHENG, J. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 59, p. 24–37, nov. 2015.

LAM, K. C.; TANG, C. M.; LEE, W. C. Application of the entropy technique and genetic algorithms to construction site layout planning of medium-size projects. **Construction Management and Economics**, v. 23, n. 2, p. 127–145, 2005.

LAM, K.; NING, X.; LAM, M. Conjoining MMAS to GA to Solve Construction Site Layout Planning Problem. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 135, n. 10, p. 1049–1057, out. 2009.

LE, P.; DAO, T.; CHAABANE, A. BIM-based framework for temporary facility layout planning in construction site A hybrid approach. **CONSTRUCTION INNOVATION-ENGLAND**, v. 19, n. 3, p. 424–464, 7 jul. 2019.

LI, H.; LOVE, P. Genetic search for solving construction site-level unequal-area facility layout problems. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 9, n. 2, p. 217–226, mar. 2000.

LI, Z. et al. Bilevel and multi-objective dynamic construction site layout and security planning. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 57, p. 1–16, set. 2015.

LI, Z.; ANSON, M.; LI, G. A procedure for quantitatively evaluating site layout alternatives. **Construction Management and Economics**, v. 19, n. 5, p. 459–467, 2001.

LIANG, L.; CHAO, W. The strategies of tabu search technique for facility layout optimization. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 17, n. 6, p. 657–669, ago. 2008.

LU, Y.; ZHU, Y. Integrating Hoisting Efficiency into Construction Site Layout Plan Model for Prefabricated Construction. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 147, n. 10, 1 out. 2021.

MAWDESLEY, M. J.; AL-JIBOURI, S. H. Proposed genetic algorithms for construction site layout. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 16, n. 5–6, p. 501–509, 2003.

MAWDESLEY, M. J.; AL-JIBOURI, S. H.; YANG, H. Genetic algorithms for construction site layout in project planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 5, p. 418–426, 2002.

NING, X. et al. A multi-attribute model for construction site layout using intuitionistic fuzzy logic. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 72, p. 380–387, dez. 2016.

NING, X.; LAM, K. Cost-safety trade-off in unequal-area construction site layout planning. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 32, p. 96–103, jul. 2013.

NING, X.; LAM, K.; LAM, M. Dynamic construction site layout planning using max-min ant system. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 19, n. 1, p. 55–65, jan. 2010.

NING, X.; LAM, K.; LAM, M. A decision-making system for construction site layout planning. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 20, n. 4, p. 459–473, jul. 2011.

OSMAN, H.; GEORGY, M.; IBRAHIM, M. A hybrid CAD-based construction site layout planning system using genetic algorithms. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 12, n. 6, p. 749–764, nov. 2003.

PETROUTSATOU, K. et al. Dynamic Planning of Construction Site for Linear Projects. **INFRASTRUCTURES**, v. 6, n. 2, fev. 2021.

RAZAVIALAVI, S.; ABOURIZK, S. A hybrid simulation approach for quantitatively analyzing the impact of facility size on construction projects. **Automation in Construction**, v. 60, p. 39–48, 1 dez. 2015.

RAZAVIALAVI, S.; ABOURIZK, S. Genetic Algorithm-Simulation Framework for Decision Making in Construction Site Layout Planning. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 143, n. 1, jan. 2017.

RAZAVIALAVI, S.; ABOURIZK, S. A simulation-based decision support tool for integrating site layout and construction planning of tunneling projects. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 20, n. 4, p. 866–886, 2022.

SADEGHPOUR, F.; ANDAYESH, M. The constructs of site layout modeling: An overview. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 42, n. 3, p. 199–212, 2015.

SADEGHPOUR, F.; MOSELHI, O.; ALKASS, S. A CAD-based model for site planning. **Automation in Construction**, v. 13, n. 6, p. 701–715, 1 nov. 2004.

SADEGHPOUR, F.; MOSELHI, O.; ALKASS, S. Computer-aided site layout planning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 132, n. 2, p. 143–151, 2006.

SAFARZADEH, S.; KOOSHA, H. Solving an extended multi-row facility layout problem with fuzzy clearances using GA. **Applied Soft Computing**, v. 61, p. 819–831, 1 dez. 2017.

SAID, H.; EL-RAYES, K. Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 36, p. 71–78, dez. 2013.

SANAD, H.; AMMAR, M.; IBRAHIM, M. Optimal construction site layout considering safety and environmental aspects. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE**, v. 134, n. 7, p. 536–544, jul. 2008.

SCHMIDT-TRAUB, H. et al. Conceptual plant layout. **European Symposium on Computer Aided Process Engineering-8**, v. 22, p. S499–S504, 15 mar. 1998.

SCHWABE, K.; TEIZER, J.; KÖNIG, M. Applying rule-based model-checking to construction site layout planning tasks. **Automation in Construction**, v. 97, p. 205–219, 1 jan. 2019.

SOLTANI, A.; FERNANDO, T. A fuzzy based multi-objective path planning of construction sites. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 13, n. 6, p. 717–734, nov. 2004.

SONG, X. et al. Bi-stakeholder Conflict Resolution-Based Layout of Construction Temporary Facilities in Large-Scale Construction Projects. **International Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 8, p. 941–964, 2018a.

SONG, X. et al. Conflict resolution-motivated strategy towards integrated construction site layout and material logistics planning: A bi-stakeholder perspective. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 87, p. 138–157, mar. 2018b.

SONG, X. et al. Modelling the effect of multi-stakeholder interactions on construction site layout planning using agent-based decentralized optimization. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 107, nov. 2019.

STORN, Rainer; PRICE, Kenneth. Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. **Journal of global optimization**, v. 11, n. 4, p. 341-359, 1997.

TAO, G. et al. Dynamic Multi-objective Construction Site Layout Planning Based on BIM. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 26, n. 4, p. 1522–1534, 2022.

THOMAS, H. Randolph; ELLIS JR, Ralph D. **Construction site management and labor productivity improvement: How to improve the bottom line and shorten the project schedule**. 2017.

VIEIRA, Helio Flavio. **Logística aplicada à construção civil: como melhorar o fluxo de produção nas obras**. São Paulo: Pini, 2006.

WONG, C.; FUNG, I.; TAM, C. Comparison of Using Mixed-Integer Programming and Genetic Algorithms for Construction Site Facility Layout Planning. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT-ASCE**, v. 136, n. 10, p. 1116–1128, out. 2010.

XU, J.; LI, Z. Multi-Objective Dynamic Construction Site Layout Planning in Fuzzy Random Environment. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 27, p. 155–169, nov. 2012.

XU, J.; SONG, X. Suggestions for Temporary Construction Facilities' Layout Problems in Large-Scale Construction Projects. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 140, n. 5, 1 maio 2014.

YAHYA, M.; SAKA, M. Construction site layout planning using multi-objective artificial bee colony algorithm with Levy flights. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 38, p. 14–29, mar. 2014.

YI, W.; CHI, H.; WANG, S. Mathematical programming models for construction site layout problems. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 85, p. 241–248, jan. 2018.

ZAVARI, M. et al. Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS. **JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING**, v. 52, 15 jul. 2022a.

ZAVARI, M. et al. BIM-based estimation of inputs for site layout planning and locating irregularly shaped facilities. **Automation in Construction**, v. 141, p. 104431, 1 set. 2022b.

ZHANG, H.; WANG, J. Particle swarm optimization for construction site unequal-area layout. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, v. 134, n. 9, p. 739–748, set. 2008.

ZHANG, H.; YU, L. Site layout planning for prefabricated components subject to dynamic and interactive constraints. **AUTOMATION IN CONSTRUCTION**, v. 126, jun. 2021.

ZHANG, J. P.; LIU, L. H.; COBLE, R. J. Hybrid intelligence utilization for construction site layout. **Automation in Construction**, v. 11, n. 5, p. 511–519, 1 ago. 2002.