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] ASPECTOS DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO MODULAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

MODULAR CONSTRUCTION MANAGEMENT ASPECTS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Andreia Cardoso Alves
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | andreiacardoso_eng@hotmail.com

Gilvam Ferreira Barbosa
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza, Ceará | gilvambarbosa@outlook.com

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

RESUMO

A construção modular é uma abordagem que se caracteriza pela fabricação fora do local de componentes volumétricos pré-fabricados, com posterior transporte e montagem, no local da obra. Trata-se de uma estratégia que tem sido utilizada, nos últimos anos, como uma resposta para os cenários de escassez de mão de obra, baixa produtividade, controle de custos e prazos, entre outros. Apesar de suas vantagens, a implementação da construção modular ainda apresenta desafios, carecendo de soluções gerenciais vertedoras de sucesso. Nesse contexto, diversos estudos têm se debruçado sobre a aplicação da construção modular em diferentes segmentos da indústria (imobiliário, hospitais, habitação de interesse social, entre outros), exibindo obstáculos e possíveis soluções gerenciais a serem aplicadas. À luz destes trabalhos, o presente estudo visa apresentar uma revisão sistemática da literatura acerca dos aspectos de gestão da construção modular. Como resultado, foi possível constatar que várias ferramentas digitais e abordagens gerenciais têm sido empregadas para amparar a construção modular, frente aos obstáculos que esta indústria ainda enfrenta. Notou-se, em especial, ênfase no emprego do *Lean Construction*, BIM, RFID, sistemas de gestão da qualidade e análise de risco como formas de asseverar o sucesso dos projetos modulares.

Palavras-chave: Construção modular. Ferramentas digitais. Gestão. Pré-fabricação.

ABSTRACT

Modular construction is an approach that is characterized by off-site fabrication of prefabricated volumetric components, with subsequent transport and assembly at the construction site. This is a strategy that has been used in recent years as a response to scenarios of labor shortages, low productivity, cost and time control, among others. Despite its advantages, the implementation of modular construction still presents challenges, lacking successful management solutions. In this context, several studies have focused on the application of modular construction in different industry segments (real estate, hospitals, social housing, among others), showing obstacles and possible managerial solutions to be applied. In the light of these works, the present study aims to present a systematic review of the literature on management aspects of modular construction. As a result, it was possible to verify that several digital tools and management approaches have been used to support modular construction, in the face of the obstacles that this industry still faces. It was noted, in particular, emphasis on the use of Lean Construction, BIM, RFID, quality management systems and risk analysis as ways to ensure the success of modular projects.

Keywords: Modular construction. Digital tools. Management. Prefabrication.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil se encontra sob forte pressão em razão das constantes quedas nos índices de produtividade (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020). Nesse sentido, as empresas do setor têm tentado desenvolver soluções para transformar o modelo tradicional de construção (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020). A modularização surge, nesse contexto, como uma das estratégias mais eficazes para melhorar a produtividade (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020). O conceito de construção modular não é novo; porém, tem sido revitalizado com desenvolvimento de ferramentas digitais de projeto e gestão, com a crescente demanda habitacional e com a escassez de mão de obra (SHARIFI *et al*, 2018).

A construção modular caracteriza-se por transferir atividades, inicialmente feitas dentro no canteiro de obras, para ambientes externos de maior controle de processos (TAYLOR, 2010). Ela gera unidades volumétricas (módulos) com acabamentos e instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias prontas. Na modularização, até 80% do trabalho pode ser concluído em instalações externas, antes de seu transporte e instalação no local.

[1]ALVES, A. C.; BARBOSA, G. F.; BARROS NETO, J. de P. Aspectos de gestão da construção modular: uma revisão sistemática de literatura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

(RIBEIRO et al, 2022). Pan et al. (2012) afirmam que a adoção desta prática traz vantagens como reduções em defeitos, riscos de saúde e segurança, durações de projetos e melhorias em sustentabilidade, produtividade e desempenho do ciclo de vida da obra.

Contudo, a implementação ampla dessa abordagem ainda não foi alcançada (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020) e desafios para sua plena adoção carecem de uma solução definitiva. Ribeiro et al (2022), por exemplo, relatam, como desafios do setor, as incertezas sobre a demanda do mercado, a falta de mão de obra experiente, problemas relacionados à qualidade e desempenho, pouca concorrência, entre outros. Outros pesquisadores citam problemas de coordenação da mão de obra (GOH; GOH, 2019; INNELLA; ARASHPOUR; BAI, 2019), alto custo inicial, restrições de transportes (KAZEM-ZADEH; ISSA, 2020) e problemas na cadeia de suprimento (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020).

Com vistas a contornar estes obstáculos, a indústria da construção civil tem envidado esforços no sentido de implementar diferentes abordagens gerenciais e ferramentas digitais. Todavia, ao contrário da construção tradicional, em que os serviços prestados são baseados em projetos, a construção modular é orientada para produtos (HALL et al., 2018). Assim, devido às características únicas destes produtos e, em razão das barreiras ainda enfrentadas pelo setor, faz-se mister uma abordagem de gestão diferente das técnicas tradicionais de gerenciamento de projetos (JANG; LEE; SON, 2022). Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) acerca dos aspectos de gestão da construção modular. Para tanto, serão mostradas as ferramentas digitais e abordagens gerenciais que estão sendo utilizadas para enfrentar os desafios do setor.

2 METODOLOGIA

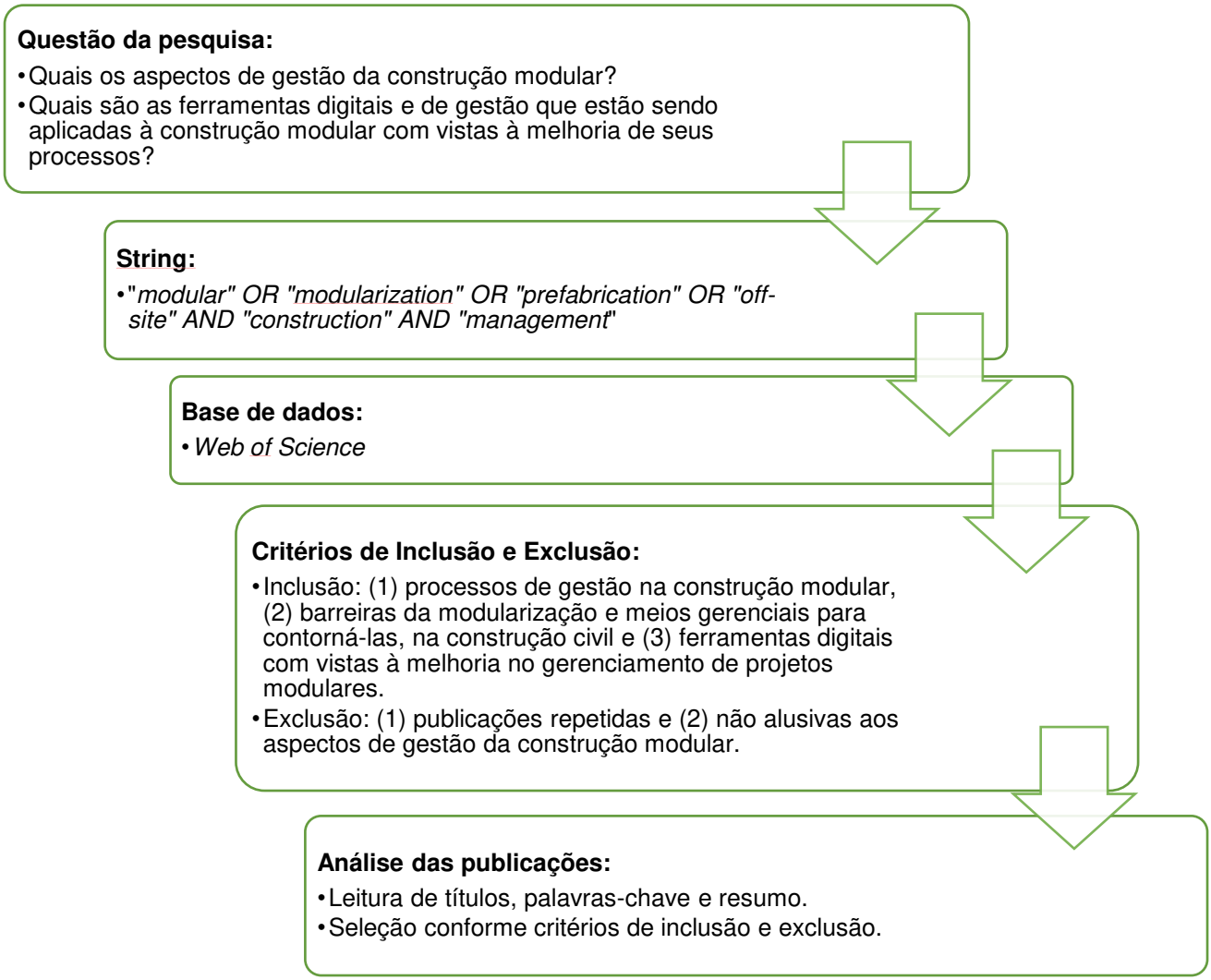
O presente artigo trata de uma revisão sistemática de literatura (RSL) acerca dos aspectos de gestão da construção modular. Esta pesquisa foi elaborada com apoio da ferramenta computacional *State Art Through Systematic Review* (StArt), cujas funcionalidades permitiram a criação de um protocolo de pesquisa, definição de critérios de inclusão e exclusão de artigos, importação de um conjunto de dados de publicações alusivas ao tema e análise das publicações.

A revisão sistemática se caracteriza pela existência de etapas específicas, a saber: pesquisa e coleta de artigos, triagem e seleção de artigos, extração dos dados, síntese dos dados. (PAN et al., 2022; INNELLA; ARASHPOUR; BAI, 2019). Na etapa de pesquisa e coleta de artigos, esta RSL adotou um protocolo com o seguinte arranjo de termos e operadores: “modular" OR "*modularization*" OR "*prefabrication*" OR "*off-site*" AND "*construction*" AND "*management*". A base de dados utilizada para pesquisa foi *Web of Science* (WoS). A escolha da base de dados fundamentou-se em sua notoriedade, no meio acadêmico, e na existência de indicadores como o *Journal Citation Indicator* (JCI), que ajudam o pesquisador a mensurar o impacto e a relevância dos trabalhos, na comunidade científica.

Visando as discussões mais recentes acerca do tema proposto, os autores limitaram as buscas ao intervalo de 2017 a 2022. Inicialmente, um total de 1833 publicações foram selecionadas na base de dados WoS, no período citado. Este montante foi importado para o StArt, onde passou por uma classificação por ordem de prioridade. Na fase de triagem e seleção dos artigos, efetuou-se leitura dos títulos, palavras-chave e resumos, o que resultou num total de 24 artigos aceitos. A figura 1 apresenta um resumo do processo metodológico empregado.

Com relação aos periódicos ou conferências de origem, observa-se, conforme tabela 1, que o periódico *journal of construction engineering and management* desponta em primeiro lugar com 7 artigos (29,17% do total), seguido *pelo journal of management in engineering* com 5 artigos (20,83%). No que diz respeito à distribuição anual das publicações selecionadas, observa-se, conforme figura 2, um número praticamente constante de publicações, nos últimos 4 anos.

Figura 1: Processo metodológico



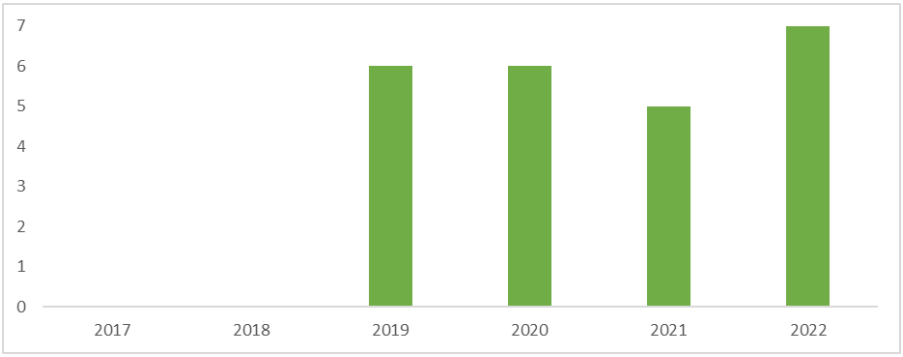
Fonte: os autores.

Tabela 1: Total de artigos por periódico ou conferência de origem

PERIÓDICOS OU CONFERÊNCIAS DE ORIGEM	TOTAL DE PUBLICAÇÕES	%
Journal of Building Engineering	2	8,33%
Engineering Construction and architectural Management	1	4,17%
Journal of Management in Engineering	5	20,83%
Construction Research Congress	3	12,50%
International Journal of Technology Management	1	4,17%
Automation in Construction	1	4,17%
Journal of Construction Engineering and Management	7	29,17%
Buildings	3	12,50%
Advances in civil Engineering	1	4,17%
Σ Publicações	24	

Fonte: os autores.

Figura 2: Distribuição anual das publicações



Fonte: os autores.

3 RESULTADOS

As publicações selecionadas, nesta RSL, objetivam demonstrar o estado da arte dos aspectos de gestão da construção modular. Os artigos escolhidos se debruçam sobre os benefícios e as dificuldades da modularização, propondo soluções que passam pela utilização de técnicas, ferramentas e metodologias digitais e gerenciais, como o *lean construction*, simulação computacional, BIM, identificação por radiofrequência (RFID), inteligência artificial (IA), *just-in-time* (JIT), *kanban*, *last planner system* (LPS), entre outros. Algumas destas publicações dão especial ênfase à gestão da cadeia de suprimentos, em face de seu papel decisivo para o resultado dos projetos modulares. Outras se concentram nos aspectos de custo, prazo, qualidade, otimização de processos, controle de qualidade, eficiência dos recursos, manutenção e sustentabilidade.

3.1 Gestão de custos, planejamento e processos produtivos na construção modular

Os pesquisadores citam como obstáculos para a construção modular: problemas de coordenação da mão de obra (GOH; GOH, 2019; INNELLA; ARASHPOUR; BAI, 2019), tempos elevados de armazenamento (GOH; GOH, 2019), problemas de tolerância e desalinhamento geométrico (ENSHASSI et al., 2019), políticas e diretrizes para OSC não padronizadas (JANG; LEE; SON, 2022), conhecimento insuficiente acerca da abordagem (KAMER et al, 2009 apud ELDAMNHOURY; HANNA, 2020), alto custo inicial, restrições de transportes (KAZEM-ZADEH; ISSA, 2020), problemas na cadeia de suprimento (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020), controle de qualidade ineficiente (LIU et al, 2022; SHIN; CHOI, 2022), montagem complexa e comunicação deficiente entre as partes interessadas (RAZKENARI et al., 2020; LUO et al., 2020), entre outros.

Com fulcro nestas limitações, Almashaqbeh e El-Rayes (2021) e Choi et al (2019), apresentam modelos de gestão de custos e planejamento voltados à melhoria das estratégias gerenciais da modularização. O modelo de Choi et al. (2019), por exemplo, é orientado por: (1) coleta de informações do projeto, (2) análise de viabilidade técnica, (3) análise de benefícios do cronograma, (4) pesquisa e levantamento do chão de fábrica referente a produção dos módulos e (5) análise de custo-benefício da implementação da modularização no canteiro de obras. Já o modelo formulado por Almashaqbeh e El-Rayes (2021) busca chegar à solução ótima de custo e eficiência de *layout* das construções, considerando os parâmetros de transporte, otimização de *layout* e equipamentos para montagem.

Innela, Arashpour e Bai (2019), por sua vez, investigam, por meio de uma revisão sistemática de literatura, as contribuições do *lean construction* para a construção modular. Como resultado, apontaram o emprego dos princípios do *lean construction*, em especial do VSM (*Value Stream Mapping*) para mapeamento da cadeia de valor e identificação dos pontos fortes e fracos do processo. Além disso, a utilização do sistema de posicionamento global (GPS) e RFID são citadas como maneiras de melhorar os processos de produção, transporte e armazenamento. Os benefícios do uso de ferramentas de simulação também são enfatizados como forma de antecipar cenários e reduzir incertezas.

Goh e Goh (2019), à guisa do estudo acima, propõe dois modelos de simulação da aplicação dos princípios da *lean construction*, no caso de um condomínio residencial, situado em Cingapura. O primeiro modelo, denominado *lean* 1, pauta-se na implementação de TQM, JIT e treinamento da mão de obra. O segundo modelo, chamado de *lean* 2, baliza-se na utilização de guindastes de pórtico automatizados e na implantação

de um sistema E-*Kanban* JIT. Como resultados, observou-se que os modelos 1 e 2 alcançaram, respectivamente, uma redução nos tempos de ciclo de 39,5% e 81,3%, e uma melhora na produtividade de 4,6% e 398%.

No Canadá, Kazem-Zadeh e Issa (2020) relataram a utilização do BIM, JIT e o VSM na construção modular de casas. De acordo com o estudo, o BIM possibilitou a uma melhor compreensão e controle do projeto, o JIT permitiu tempo hábil para os processos de compras e abriu caminho para entrega na obra, no momento e na quantidade corretas, e o VSM, auxiliou os gerentes a explorarem maneiras de otimizar o processo de produção. Ainda no Canadá, Zaalouk e Han (2022) abordaram a implementação do *lean* e *six sigma* associados à estatística e ferramentas 3D, no ambiente das linhas de produção de uma fábrica de módulos. Os pesquisadores observaram, como resultado, uma melhora na produtividade do serviço analisado, na fábrica.

Na Bélgica, a aplicabilidade do *Last Planner System* (LPS), no âmbito da construção eólica modular, foi avaliada num estudo conduzido por Lerche et al. (2020). A pesquisa fez uso do método Design Science Research. Após implementação do modelo conceitual, observou-se que o projeto performou um PPC médio semanal de 68,1% e conseguiu uma redução de um mês no cronograma de pré-montagem e instalação (25% de redução da duração constante no cronograma linha de base).

Na Coreia do Sul, sistemas de gestão integrada foram propostos como forma de auxiliar no gerenciamento da construção modular. Nam et al (2019), por exemplo, desenvolveram um sistema com três funções gerais: configuração da fábrica, criação de projetos e análise de resultados. O software foi aplicado para o caso de uma fábrica modular e conseguiu promover uma otimização dos processos fabris, melhoria na alocação da mão de obra e 11,2% de redução no tempo de fabricação.

Jan, Lee e Son (2022), por sua vez, conceberam um sistema de gestão integrada para a construção modular capaz de gerenciar o desenho do produto, planejar e programar a construção, administrar estoques, remessas e transportes, monitorar o progresso das atividades e gerir aspectos financeiro dos contratos. A aplicabilidade foi analisada em quatro projetos, na Coreia do Sul, executados entre 2019 e 2021. Os resultados obtidos foram: (1) redução no tempo de compartilhamento, troca de dados e correção de erros de projetos; (2) facilitação da compreensão de projetos por meio de modelos 3D; (3) redução de incertezas nos processos através do uso de ferramentas de simulação para apoiar o planejamento de montagem no local; (4) planejamento e produção vinculados ao sistema; (5) armazenamento automático das informações de lead time, localização, status de produção e estoque, por meio da utilização de RFID inserido nos elementos; (6) inspeções automáticas e informações de quantidade de componentes instalados, a partir de leitores RFID.

Não obstante a importância dos sistemas de gestão integrada, outra ferramenta com potencial de melhorar a eficiência dos recursos e reduzir a variabilidade da modularização é a utilização de inteligência artificial. A IA e a robótica são tidas como os facilitadores principais, juntamente com a Internet das Coisas (IoT), *big data* e segurança cibernética, para a adoção da Indústria da Construção 4.0 na trajetória futura da indústria na pré-fabricação e manufatura avançada. (PAN et al., 2022)

3.2 Gestão da qualidade na construção modular

Sharif et al. (2022) aventaram um modelo de desempenho e avaliação de controle de qualidade baseado em modelos digitais tridimensionais associadas com a modelagem paramétrica característica do BIM. Shin e Choi (2022), por sua vez, desenvolveram um software para gestão da qualidade, na construção modular, capaz de (1) gerenciar as informações de projeto dos módulos, (2) rastrear e gerenciar as informações de qualidade dos materiais (desde o estágio de planejamento até a etapa de construção), (3) gerenciar as informações de fabricação, (4) classificar e gerenciar os tipos de módulos e (5) gerenciar informações de inspeções dos produtos.

3.3 Gestão da manutenção e reutilização de componentes modulares

No tocante à manutenção e reutilização de componentes modulares, Iacovidou et al (2021) destaca que é possível criar planos de recuperação, apoiados pelo uso integrado do BIM com o RFID, como meio de conectar as partes a montante e a jusante da cadeia de valor da construção modular. A ideia é que BIM-RFID proporcionem a coleta e compartilhamento de dados de fabricação, localização geográfica, instalação, propriedades técnicas e desempenho após a montagem, o que facilitaria o processo de manutenção ou reutilização de componentes modulares. Adicionalmente, as informações geradas pela implementação BIM-RFID forneceriam também orientação para diferentes públicos-alvo (fabricantes, formuladores de políticas,

especialistas em compras, contratados, entre outros), auxiliando a superar deficiências nos modelos atualmente empregados.

3.4 Gestão da cadeia de suprimentos na construção modular

Alguns pesquisadores, a fim de dirimir os problemas de fragmentação, sugerem integrar verticalmente a cadeia de suprimentos. O objetivo central é que uma única empresa assuma a coordenação de todas as atividades de projeto, aquisição, fabricação, construção e varejo (ELDAMNHOURY; HANNA, 2020). Um exemplo de integração vertical pode ser visto no estudo de caso múltiplo conduzido por Pan e Zhang (2022). Nele, o empreiteiro principal liderou mais de 40 subempreiteiros e 20 fornecedores de materiais.

O gerenciamento da cadeia de suprimentos apresenta ainda outras duas direções de pesquisa, quais sejam: (1) gestão do armazenamento e inventário e (2) produção e entrega *just-in-time*. No primeiro caso, destaca-se as estratégias de empilhamento e a otimização do processo de transporte como questões chave do processo de gestão de armazenamento e inventário. No segundo caso, frisa-se a importância das tecnologias como RFID e códigos de barra para localização e gerenciamento do estoque. (JANG; LEE; SON, 2022).

No tocante à logística, um desafio enfrentado pela construção modular é minimizar os custos totais de transporte e armazenamento de módulos pré-fabricados. Nesse sentido, Almashaqbeh e El-Rayes (2021) desenvolveram um modelo de tomada de decisão com intuito de contornar esse obstáculo. O modelo calcula, a partir de um conjunto viável de caminhões de transporte de componentes modulares, quais são os tipos ideais de caminhões. Para tanto, emprega um algoritmo que faz uma relação entre dia de entrega ideal de cada módulo, localização e orientação no caminhão designado, restrições relevantes, checagem da distribuição do peso da carga e redução do arrasto aerodinâmico.

Innella, Arashpour e Bai (2019) sugerem também a adoção de um esquema multifornecedor com vistas à minimização de possíveis interrupções na cadeia.

3.5 Discussão dos resultados

Nota-se, conforme Quadro 1, que o *lean construction* foi a abordagem de gestão mais citada, o que reflete uma tendência pela adoção de práticas enxutas, na construção modular. Outras ferramentas bastante citadas foram o BIM e RFID, sugerindo a importância das ferramentas computacionais para o sucesso da adoção das construções modulares.

Adicionalmente, percebeu-se, nesta revisão, temáticas alusivas a controle de qualidade, JIT, gestão de riscos e sistemas de gestão integrada, o que presume uma preocupação do setor com a padronização dos dados de qualidade, com a avaliação dos riscos decorrentes da adoção modularização, com a integração das informações sob uma plataforma única de gestão e com produção e entrega de produtos modulares ocorrendo no momento certo.

No que tange às palavras-chave que mais se repetiram, vê-se, de acordo com a figura 3, um predomínio dos termos *prefabrication, modularity, modular building*, BIM e *off-site construction*.

4 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo pesquisar, por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), quais as abordagens de gestão e ferramentas digitais que estão sendo empregadas na construção modular. Sua contribuição principal foi apresentar estas abordagens e ferramentas e mostrar como elas podem auxiliar na melhoria dos processos de gestão.

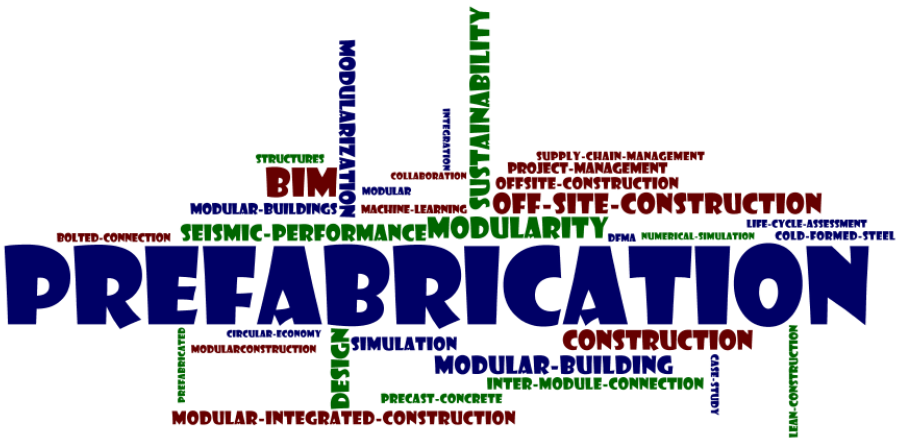
Os resultados mostraram que diferentes estratégias têm sido implementadas com vistas à melhoria dos processos de gestão, a saber: otimização de custos e de cronograma, melhoria dos processos produtivos, adoção de práticas *Lean*, implantação de sistemas de gestão integrada, uso de inteligência artificial e robótica, gestão da qualidade por meio de softwares especializados, utilização de modelos de tomada de decisão para gestão de riscos e modelos voltados a desenvolver a sustentabilidade nas construções modulares. Além destas abordagens, notou-se uma utilização, cada vez mais frequente, de ferramentas digitais, como o BIM e o RFID, o que sugere a importância da tecnologia da informação para o sucesso da gestão dos projetos modulares construções modulares.

Quadro 1: Ferramentas e abordagens

			Lean Construction	RFID	BIM	Análise de risco	JIT	Sistemas de gestão integrada	Controle de Qualidade	Simulação computacional	LPS	Integração vertical	Esquema multifornecedor	GPS	TQM	*E-kanban*	IA	*Six sigma*	Otimização do transporte	Redução de horas de trabalho	Otimização de *layout*
Almashaqbeh e El-Rayes	2021	a																			x
Almashaqbeh e El-Rayes	2021	b																	x		
Choi et al	2019																			x	
Eldamnhoury; Hanna	2020											x									
Enshassi et al	2019					x															
Evans; Li; Yang	2019							x													
Goh; Goh	2019		x				x			x					x	x					
Iacovidou et al	2021			x	x																
Inella; Arashpour; Bai	2019		x	x									x	x							
Jang; Lee; Son	2022			x			x	x													
Kazem-Zadeh; Issa	2020		x		x		x														
Lerche et al	2020										x										
Liu et al	2022								x												
Luo et al	2020					x							x								
Nabi e Islam	2021	a				x															
Nabi e Islam	2021	b				x															
Nam et al	2019			x				x													
Pan e Zhang	2022											x									
Pan et al	2022																x				
Razkenari et al	2020								x												
Sharif et al.	2022				x					x											
Shin e Choi	2022								x												
Zaalouk e Han	2022		x		x													x			
Zhang et al.	2020		x								x										
	Total		**5**	**4**	**4**	**4**	**3**	**3**	**3**	**2**	**2**	**2**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**

Fonte: os autores.

Figura 3: Palavras-chave



Fonte: os autores.

A maioria das estratégias de gestão identificadas apresentaram a limitação de terem sido aplicadas em contextos pontuais e sem comparativos com obras similares, o que reforça a necessidade de uma maior quantidade de estudos de caso para validar sua eficiência e aplicabilidade. Destaca-se também que poucos estudos se debruçaram sobre otimização de transporte, utilização de inteligência artificial e otimização de

layout. Além disso, notou-se uma escassez de trabalhos sobre uma sistematização das melhores práticas de gestão, na construção modular.

Do exposto, esse artigo buscou contribuir para o entendimento do estado da arte dos aspectos de gestão da construção modular, elencando as principais dificuldades da modularização e listando, a partir do corpo de publicações analisadas, as possíveis soluções gerenciais aplicáveis. Ademais, a presente pesquisa fomentou a importância da construção modular para a indústria da construção civil, tendo em vista os problemas das tradicionais metodologias construtivas. Outro ponto importante é que poderá servir de base para estudo que visem a ampliação e/ou padronização das melhores práticas da construção modular. Para pesquisas futuras sugere-se: (1) análise da eficiência das abordagens de gestão em diferentes casos de modularização, de modo a identificar suas similaridades e antagonismos, (2) gerenciamento e otimização dos meios de transporte dos módulos e (3) emprego de IA para melhoria dos processos de gestão.

REFERÊNCIAS

ALMASHAQBEH, M.; EL-RAYES, K. Minimizing transportation cost of prefabricated modules in modular construction projects. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 141, p. 01-15, 2021b. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-11-2020-0969/full/html. Acesso em: 20 nov. 2022.

ALMASHAQBEH, M.; EL-RAYES, K. Optimizing the modularization of floor plans in modular construction projects. **Journal of Building Engineering**, v. 39, p. 01-12, 2021a. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221001728. Acesso em: 20 nov. 2022.

CHOI, J. et al. Modularization Business Case Analysis Model for Industrial Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 35, ed. 3, p. 01-11, 2019. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000683. Acesso em: 20 nov. 2022.

ELDAMNHOURY, E. S.; HANNA, A. S. Investigating Vertical Integration Strategies in Modular Construction. In: Construction Research Congress. **Anais**. Arizona, 2020. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482889.131. Acesso em: 20 nov. 2022.

ENSHASSI, M. S. A. et al. Integrated Risk Management Framework for Tolerance-Based Mitigation Strategy Decision Support in Modular Construction Projects. **Journal of management in engineering**, v. 35, n. 4, 1 jul. 2019. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000698. Acesso em: 20 nov. 2022.

EVANS, S.; LI, H.; YANG, M. Classifying different types of modularity for technical system. **International Journal of Technology Management**, v. 81, n. 1/2, p. 1, 2019. Disponível em: https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJTM.2019.101267. Acesso em: 20 nov. 2022.

GOH, M.; GOH, Y. M. Lean production theory-based simulation of modular construction processes. **Automation in Construction**, v. 101, p. 227–244, maio 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051730585X. Acesso em: 20 nov. 2022.

HALL, D. M. et al. Identifying the Role of Supply Chain Integration Practices in the Adoption of Systemic Innovations. **Journal of management in engineering**, v. 34, n. 6, nov. 2018. Disponível em: https://ascelibrary-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000640. Acesso em: 23 maio 2023

IACOVIDOU, E. et al. Digitally enabled modular construction for promoting modular components reuse: A UK view. **Journal of building engineering**, v. 42, out. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221006781. Acesso em: 20 nov. 2022.

INNELLA, F.; ARASHPOUR, M.; BAI, Y. Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review. **Journal of construction engineering and management**, v. 145, n. 12, 1 dez. 2019. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001712. Acesso em: 20 nov. 2022.

JANG, Y.; LEE, J.-M.; SON, J. Development and Application of an Integrated Management System for Off-Site Construction Projects. **Buildings**, v. 12, n. 7, p. 1063, jul. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/7/1063. Acesso em: 20 nov. 2022.

KAZEM-ZADEH, M.; ISSA, R. R. A. Constraints of Modular Construction for Fully Serviced and Finished Homes: Lessons Learned from Canada. In: Construction Research Congress. **Anais**. Arizona, 2020. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784482889.112. Acesso em: 20 nov. 2022.

LERCHE, J. et al. Application of Last Planner System to Modular Offshore Wind Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 11, p. 05020015, 1 nov. 2020. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001922. Acesso em: 20 nov. 2022.

LI, L. et al. Understanding Sustainability in Off-Site Construction Management: State of the Art and Future Directions. **Journal of Management in Engineering**, v. 148, ed. 11, p. 01-24, 2022. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002396. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIM, Yaik-Wah; LING , Philip CH; TAN , Cher Siang; CHONG , Heap-Yih; THURAIRAJAH , Ashwin. Planning and coordination of modular construction. **Automation in Construction**, v. 141, p. 01-15, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003284. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIU, Y. et al. Quality Control for Offsite Construction: Review and Future Directions. **Journal of Management in Engineering**, v. 148, ed. 8, p. 01-14, 2022. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002317. Acesso em: 20 nov. 2022.

LUO, L. et al. Supply Chain Management for Prefabricated Building Projects in Hong Kong. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, ed. 2, p. 01-15, 2020. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000739. Acesso em: 20 nov. 2022.

NABI, M. A.; EL-ADAWAY, I. H. Risk-Based Approach to Predict the Cost Performance of Modularization in Construction Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 147, ed. 10, p. 01-16, 2021a. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002159. Acesso em: 20 nov. 2022.

NABI, M. A.; EL-ADAWAY, I. H. Understanding the Key Risks Affecting Cost and Schedule Performance of Modular Construction Projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, ed. 4, p. 01-14, 2021b. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29ME.1943-5479.0000917. Acesso em: 20 nov. 2022.

NAM, S. et al. Integrated Management Software for Factory Production of Modular Buildings. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, p. 1–10, 6 Maio 2019. Disponível em: https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/7693459/. Acesso em: 20 nov. 2022.

PAN, W. et al. Strategies for integrating the use of off-site production technologies in house building. **Journal Civil Engineering Management**. v.138, n.11, p.1331–1340, 2012. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000544. Acesso em: 20 nov. 2022.

PAN, M. et al. Artificial Intelligence and Robotics for Prefabricated and Modular Construction: A Systematic Literature Review. **Journal of construction engineering and management**, v. 148, n. 9, 1 set. 2022. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002324. Acesso em: 20 nov. 2022.

PAN, W.; ZHANG, Z. Evaluating Modular Healthcare Facilities for COVID-19 Emergency Response – A Case of Hong Kong. **Buildings**, v. 12, n. 9, p. 1430, 11 set. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/9/1430. Acesso em: 20 nov. 2022.

RAZKENARI, M. et al. Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices. **Journal of Building Engineering**, v. 29, p. 01-13, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710219306060. Acesso em: 20 nov. 2022.

RIBEIRO, A. M.; ARANTES, A.; CRUZ, C. O. Barriers to the Adoption of Modular Construction in Portugal: An Interpretive Structural Modeling Approach. **Buildings**, v. 12, n. 10, p. 1509, 22 set. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/10/1509. Acesso em: 20 nov. 2022.

SHARIF, M. M.; CHUO, S.; HAAS, C. T. Rapid 3D Quality Control in Prefabrication Using a 3D Digital-Templates Framework. **Journal of Management in Engineering**, v. 148, ed. 11, p. 01-15, 2022. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002353. Acesso em: 20 nov. 2022.

SHARIFI, P. et al. Identification of Factors and Decision Analysis of the Level of Modularization in Building Construction. **Journal of Architectural Engineering**, v. 24, n. 2, Jun. 2018. Disponível em: https://ascelibrary-org.ez11.periodicos.capes.gov.br/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29AE.1943-5568.0000313. Acesso em: 22 maio 2023.

SHIN, J.; CHOI, B. Design and Implementation of Quality Information Management System for Modular Construction Factory. **Buildings**, v. 12, n. 5, p. 654, 13 maio 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/5/654. Acesso em: 20 nov. 2022.

TAYLOR, M. D. A definition and valuation of the UK offsite construction sector. **Construct. Manage. Econ.** v.28, n.8, p.885–896, 2010. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446193.2010.480976. Acesso em: 20 nov. 2022.

ZAALOUK, A.; HAN, S. Lean-Based Integrated Approach for Manual Work Design Optimization in Modular Construction. In: Construction Research Congress. **Anais**. Virgínia, 2022. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784483985.034. Acesso em: 20 nov. 2022.

ZHANG, Y. et al. Process-Oriented Framework to Improve Modular and Offsite Construction Manufacturing Performance. **Journal of Management in Engineering**, v. 146, ed. 9, p. 01-16, 2020. Disponível em: https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0001909. Acesso em: 20 nov. 2022.