A INTERNET DAS COISAS NA GESTÃO DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

Internet of things in lean construction management

Gabriel Vieira Pinheiro
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | gabriel@elite.arq.br

José Carlos Paliari
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | jpaliari@ufscar.br

Itamar Aparecido Lorenzon
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | itamar@ufscar.br

Sheyla Mara Baptista Serra
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos, SP | sheylabs@ufscar.br

RESUMO

A indústria da construção civil é reconhecida pelos processos de execução complexos e pela participação de vários agentes intervenientes. A falta de padronização e erros humanos causam atrasos, perdas e prejuízos financeiros. Neste contexto, este estudo analisa o uso da tecnologia internet das coisas (IoT) no gerenciamento da construção enxuta, por meio de uma revisão sistemática de literatura, verificando seu impacto na eficiência da construção em quesitos como produtividade e redução de perdas. A utilização da IoT integrada a outras tecnologias, como por exemplo o BIM, possibilita a criação de um gêmeo digital da obra, permitindo uma gestão em tempo real de forma remota, facilitando tomadas rápidas de decisões e identificação precoce de falhas. Sendo assim, este trabalho busca explorar o atual estado de conhecimento do uso da IoT em construções, e assim visualizar o potencial dessa tecnologia em transformar o setor. O atual cenário aponta dificuldades na integração entre a IoT e demais tecnologias, mostrando necessário adaptar *softwares* e equipamentos para melhorar a compatibilidade, troca de dados e uso intuitivo, além da necessidade da difusão do conhecimento e capacitação dos profissionais. Superando as atuais barreiras, começa a se traçar o caminho para automação na construção, promovendo melhor eficiência e sustentabilidade.

Palavras-chave: Construção enxuta; Gerenciamento; Internet das coisas; Automação; IoT.

ABSTRACT

The civil construction industry is recognized for its complex execution processes and the participation of several stakeholders. The lack of standardization and human errors result in delays, losses and financial problems. In this context, this study analyses the use of Internet of Things (IoT) technology in lean construction management, through a systematic literature review, verifying its impact on construction efficiency in aspects such as productivity and waste reduction. The use of IoT integrated with other technologies, such as BIM, enables the creation of a digital twin of the building, allowing real time remote management, facilitating quick decision making and premature fail detection. Therefore, this study aims to explore the current state of knowledge on the use of IoT in construction, and then to visualize its potential to transform the industry. The current scenario points to challenges in integrating IoT with other technologies, showing the necessity to adapt software and equipment to enhance the compatibility, data exchange and intuitive usability, as well as the need of knowledge dissemination and training for the professionals. Overcoming these barriers, it begins to pave the way for automation in construction, promoting greater efficiency and sustainability.

Keywords: *Lean construction; Management; Internet of things; Automation; IoT.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é reconhecida por sua importância no cenário econômico de qualquer país e por sofrer intensa pressão para buscar soluções que aumentem a sua eficiência e diminuam impactos ambientais para melhor sustentabilidade, abrindo espaço para incorporar uma significativa evolução tecnológica e organizacional. Sendo assim, baseado nas práticas da indústria automobilística, surgiram os princípios da construção enxuta, que visam reduzir perdas, eliminar processos que não agregam valor, aumentar a produtividade, padronizar os processos e investir mais em atividades que agregam valor aos *stakeholders* (partes interessadas) (Koskela, 1992). Os princípios da construção enxuta (*lean construction*) já são difundidos mundialmente (embora muitas construtoras ainda não adotem), porém há uma grande distância para que as construtoras consigam usufruir da máxima capacidade desta. Tais limitações podem ser atribuídas a grande quantidade e complexidade de processos em uma construção, trabalhos artesanais e atrasos de fornecedores, o que resulta em imprevisibilidades (Jain, Sudarsan e Parija, 2023).

Baseando-se na filosofia da construção enxuta, de uma forma sistêmica, (Ballard, 2000) introduziu o conceito *Last Planner System* (LPS), que objetiva melhorar o planejamento e execução de projetos através da gestão em tempo real. Neste sistema de gestão, através dos dados obtidos após as execuções das etapas, é feito um planejamento que se enquadra com prazos realistas, resultando em um controle proativo e eficiente. O LPS atua no nível da produção para além do projeto, garantindo melhor gestão, reduzindo desperdícios e retrabalhos pela identificação de problemas em estágio precoce e aumentando a produtividade.

O alinhamento e sincronização das etapas através da gestão do fluxo do processo produtivo é necessário para reduzir ineficiências como o tempo de espera entre atividades e padronização (Tommelein, Riley e Howell, 1999). A criação de valor para os *stakeholders* ocorre removendo atividades que não agregam valor, ou seja, eliminando desperdícios como tempo ocioso, transportes desnecessários e estoque em excesso, e para isso a gestão do fluxo visa uma melhor coordenação das operações reduzindo operações desnecessárias, o que resulta em um menor custo de produção final.

A indústria 4.0 é caracterizada pelos de produção digitais, integrados e automatizados (Lekan et al., 2020), utilizando tecnologias capazes de digitalizar o ambiente real para gerenciamento descentralizado (Sacks et al., 2020). A construção 4.0 busca aplicar tais princípios utilizando-se de tecnologias como BIM (*Building Information Modeling*), IA (Inteligência Artificial), DT (*Digital Twin* ou Gêmeo Digital) e IoT (*Internet of Things*), contudo é um conceito ainda pouco adotado na prática. Como um dos principais assuntos da construção 4.0, a IoT é uma tecnologia em que dispositivos com sensores com acesso à internet são capazes de coletar dados físicos e transformá-los em digitais, possibilitando obter informações como umidade do ar, temperatura, localização de equipamentos e trabalhadores, quantitativos de materiais, de forma contínua e em tempo real, que são utilizadas para um gerenciamento remoto para rápidas tomadas de decisões, evitando atrasos de cronogramas, estouro de orçamentos ou defeitos de execução pela identificação destes em estágios iniciais, (Senthil e Muthukannan, 2022), funcionalidades que colaboram com os princípios da construção enxuta, que abrangem a filosofia, conceitos estratégicos e ferramentas *lean* (Musa et al., 2023).

Exemplificando alguns equipamentos IoT; o drone é capaz de fazer uma análise termográfica de uma fachada e detectar possíveis trincas e infiltrações; o sensor LIDAR é capaz de escanear um ambiente e transformá-lo em um modelo digital com medidas reais; os equipamentos vestíveis (*wearable equipment*) coletam informações dos trabalhadores como frequência cardíaca e localização, possibilitando gerir o fluxo no canteiro de obras e emite alertas quando este atinge uma zona considerada de risco; o RFID (*Radio-Frequency Identification*) são etiquetas (*tag*) que podem ser ativas (com bateria) ou passivas (sem bateria), lidas por um leitor RFID, podem ser utilizadas para o gerenciamento de materiais, fornecendo informações como localização e quantidade em tempo real, além da possibilidade de integração com o modelo BIM; e sensores de localização georreferenciados para monitoramento da frota de veículos da empresa. Entretanto, ainda são pouco utilizados na construção apesar do potencial destes, principalmente quando operados em conjunto.

O BIM, também é um assunto difundido, porém não muito adotado por construtoras que possuem uma barreira cultural de tradicionalidade, dificuldades de investimento e capacitação. BIM é uma metodologia de trabalho que visa integrar e gerenciar informações sobre um projeto, considerando todo o seu ciclo de vida. A plataforma BIM abrange os projetos de várias disciplinas de uma obra, integrados em um só modelo, resultando em uma visão mais holística do projeto, além de facilitar no planejamento e controle (Heyl e Demir, 2019). Entretanto, na maioria dos casos, o uso do BIM tem se limitado somente às fases iniciais do ciclo de vida, que é a concepção de projetos, planejamento e *design* e, ao longo da construção, devido à falta de acompanhamento e não adoção do LPS, o modelo torna-se desatualizado. A partir disso, com o uso dispositivos IoT seria possível realizar coleta de dados mais eficientemente, em tempo real e de forma automatizada para alimentar o modelo BIM (Pal *et al.*, 2023), deixando-o sempre atualizado. A ideia desse

uso integrado do BIM com a IoT auxilia na criação de um DT da construção física para o gerenciamento remoto e em tempo real (Reinbold *et al*., 2019; Suarez, Zapata e Brioso, 2020).

Apesar dos benefícios citados anteriormente, para atingir um gerenciamento de uma construção mais automatizado é necessário encontrar soluções para os atuais desafios. A maioria dos trabalhos encontrados na literatura indagam sobre a dificuldade da interoperabilidade entre equipamentos IoT e BIM. Para que isso ocorra é necessário um profissional especialista nestes assuntos, o que limita o uso a praticamente pesquisas acadêmicas. O uso de equipamentos IoT já é amplamente adotado em fases finais do ciclo de vida, nas denominadas *smart homes*, no entanto necessário explorar mais o uso da IoT na fase de construção (Liu *et al*., 2020). A junção de tecnologias digitais em obras e princípios e ferramentas da construção enxuta possui potencial para melhorar o atual cenário da gestão dos canteiros de obras (Dave *et al*., 2016; Lekan *et al*., 2022).

Desta forma, este trabalho objetiva explorar o atual estado de conhecimento do uso das tecnologias IoT no gerenciamento da construção enxuta, explorando atuais dificuldades, limitações e dando sugestões e diretrizes para futuras pesquisas.

2 METODOLOGIA

Este trabalho teve como metodologia uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), a qual será descrita neste capítulo.

Inicialmente foram definidas as palavras-chaves para a seguinte pergunta: “Qual é o estado do conhecimento do uso da IoT no gerenciamento da construção enxuta e automação?”. Assim sendo, através de tentativas, foi determinada a combinação entre palavras-chaves visando resultar em documentos bem alinhados com o tema. O próximo passo foi importar estes documentos para o *software* StArt (*State of the Art through systematic review*) para identificar duplicados e, posteriormente, através da leitura do título e resumo, incluir ou excluir documentos para análise. Após esta etapa, foi realizada a leitura dos documentos por completo para extrair as informações e sintetizá-las. Para fornecer informações de forma visual sobre as interligações dos assuntos, os documentos foram exportados para o *software* VOSviewer.

Seguindo a metodologia de Munzlinger, Narcizo e Queiroz (2012), esta RSL foi dividida em um protocolo de 3 fases: (a) planejamento e formalização da pesquisa via protocolo de estudo, (b) execução da pesquisa seguindo o protocolo e (c) sumarização dos dados coletados.

Fase 1: Planejamento e formalização da pesquisa

Seguindo a temática e a pergunta de pesquisa, foram definidas as *strings* de busca com as palavras *lean construction*, *management*, *automation*, IoT e *internet of things* para pesquisa nas bases de dados do *Scopus*, *Science Direct*, *Engineering Village*, *Web of Science* e IGLC (*International Group for Lean Construction*). Os documentos resultantes tinham que conter os termos *lean construction* e *management* combinados com os termos *automation*, ou IoT, ou *internet of things*, visando publicações que abordem tanto a automação quanto a IoT.

Fase 2: Execução da pesquisa seguindo o protocolo

Nesta etapa foram executadas as pesquisas nas bases de dados e aplicados filtros. No Quadro 1, são apresentadas as *strings* formadas.

Quadro 1: *Strings* de buscas nas respectivas bases de dados

BASE DE DADOS	*STRING* FORMADA
Scopus	*"lean construction" AND "management" AND ("automation" OR "internet of things" OR "iot")*
Web of Science	*"lean construction" AND "management" AND ("automation" OR "internet of things" OR "iot")*
Engineering Village	*((((("lean construction" AND "management" AND ("automation" OR "internet of things" OR "iot")) WN KY)) AND ({ja} WN DT)) AND ({english} WN LA))*
Science direct	*"lean construction" AND "management" AND ("automation" OR "internet of things" OR "iot")*
IGLC	*internet of things*
IGLC	*iot*
IGLC	*automation*

Fonte: O autor

Na base de dados do IGLC realizaram-se três buscas distintas, pelo fato do buscador não permitir a combinação de termos.

Posteriormente foram aplicados filtros descritos no Quadro 2.

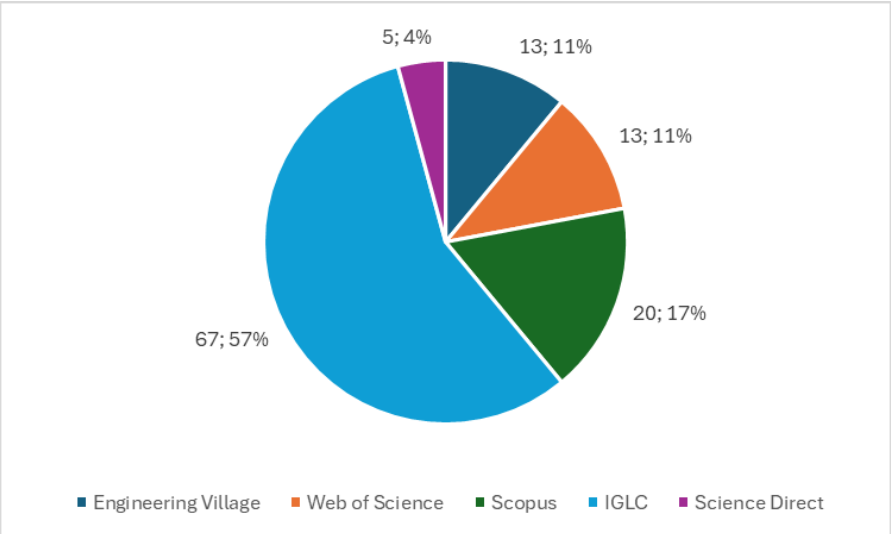
Quadro 2: Filtros de busca e número de documentos resultantes

BASE DE DADOS	QUALITATIVO	DOCUMENTOS
Scopus	*Search within: Article title, abstract, keywords;* *Document type: Article;* *Language: English.*	20
Web of Science	*Search within: Topic;* *Document types: Article.*	13
Engineering Village	*Search within: Subject/Title/Abstract;* *Document types: Journal article;* *Language: English.*	13
Science direct	*Search in: Title, abstract, keywords;* *Document types: Research articles.*	5
IGLC	Busca direta (para "*internet of things*").	9
IGLC	Busca direta (para "*iot*").	36
IGLC	Busca direta (para "*automation*").	22

Fonte: O autor

Na Figura 1 apresenta-se o percentual de resultados obtidos em cada base de dados.

Figura 1: Número e percentagem de resultados nas respectivas bases de dados



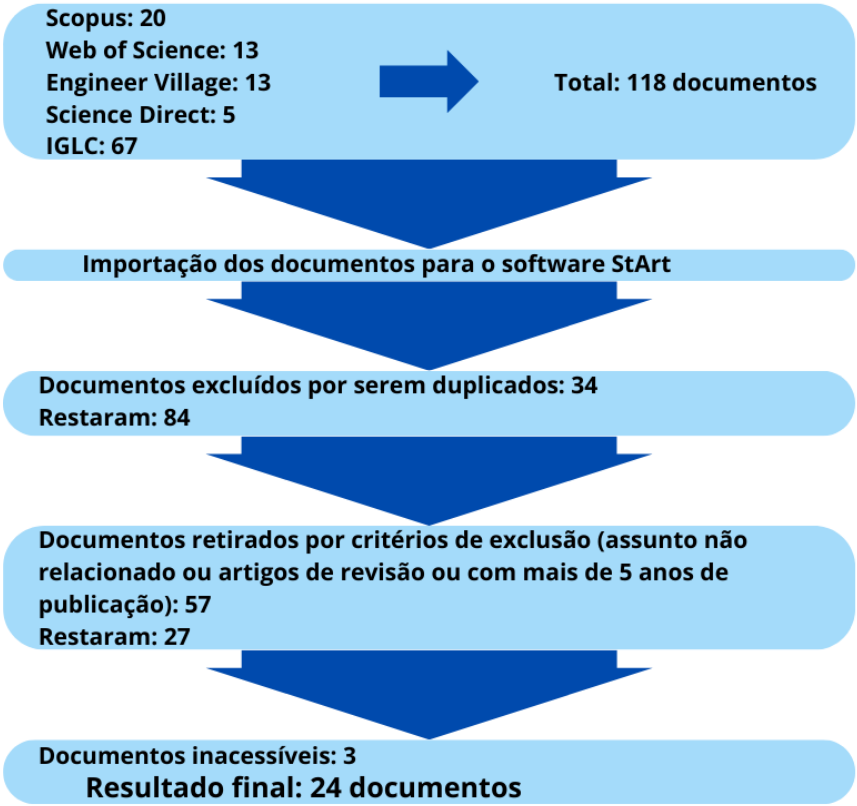
Fonte: O autor

As *strings* tinham que estar presentes no título, resumo ou palavras-chaves, a linguagem foi limitada ao inglês, porém houve apenas 1 documento em outra linguagem. A busca foi realizada em dezembro de 2024, em documentos revisados por pares.

Foram obtidos 118 resultados no total, os quais foram importados para o *software* StArt e, desta forma, foram identificados 34 documentos duplicados, resultando em 84.

Como o tema deste trabalho abrange um assunto em rápido desenvolvimento, que é a tecnologia IoT, artigos com mais de cinco anos de publicação foram desconsiderados. Outros critérios de exclusão foram; documentos que abordavam a tecnologia IoT em áreas ou etapas que não fossem na construção; documentos que falavam apenas sobre construção enxuta e; documentos que continham outros assuntos. Como critério de inclusão, deveriam falar do uso da IoT em construções ou automação na construção. Desta forma, foram incluídos os documentos publicados a partir de 2019 ou mais recentes, restando 27 documentos, destes, três com acesso restrito. Assim, foi possível analisar 24 documentos. Na Figura 2 apresenta-se a ilustração do protocolo seguido.

Figura 2: Fluxograma da RSL



Fonte: O autor

Fase 3: Sumarização dos resultados coletados

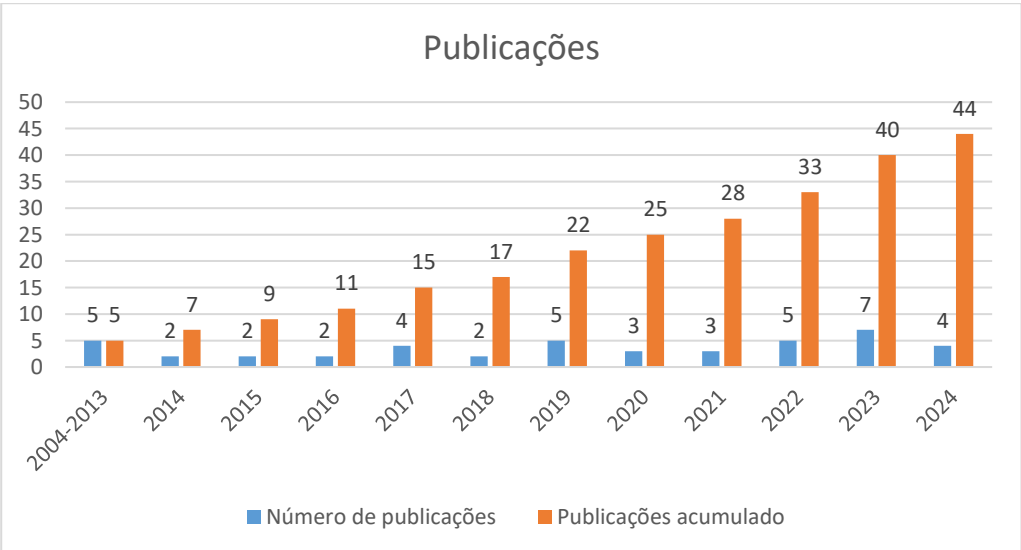
Nesta etapa realizou-se a leitura completa dos documentos para coleta, análise e compilação dos conteúdos. Posteriormente, os artigos analisados foram exportados para o *software* VOSviewer para análise bibliométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise bibliométrica

Para demonstração de como o tema deste trabalho é emergente e relevante, na Figura 3 está representado o número de publicações por ano na cor azul e o número de publicações acumuladas por ano na cor laranja.

Figura 3: Publicações por ano e publicações acumuladas



Fonte: O autor

Para gerar a tabela da Figura 3 foram considerados 44 artigos, pois foram incluídos aqueles publicados antes de 2019, apenas não foram considerados aqueles de assuntos não relacionados.

Percebe-se que, antes de 2013, foram encontradas apenas 5 publicações, sendo a mais antiga de 2004. Tal fato é justificado por equipamentos conectados à internet ser algo recente.

De 2004 (primeira publicação encontrada) até 2018 foram publicados 17 documentos sobre o tema em um período de 14 anos, de 2019 até a presente análise foram publicados 27 trabalhos em um período de cinco anos, o que representa 61% dos documentos.

Conclui-se que é um assunto de relevância atual com tendência de aumento de pesquisas. A medida em que se observa a evolução de equipamentos IoT para construção e a melhora da integração destes, resultando na automação de trabalhos e processos (Muñoz-La Rivera *et al*., 2021), a tendência será em aumentar pesquisas e evidências sobre o processo de digitalização do canteiro de obras, o que certamente será requisito para construção enxuta, baseando-se na filosofia *lean* e nos benefícios percebidos da IoT na literatura.

Análise de ocorrência de palavras-chaves

Para uma análise de ocorrência e relevância de palavras utilizadas nos documentos, por meio do *software* StArt, foi criada uma nuvem de palavras ilustrada na Figura 4. A proximidade das palavras indica ligação entre elas, e o tamanho indica recorrência.

Figura 4: Ocorrências de palavras chaves



Fonte: O autor

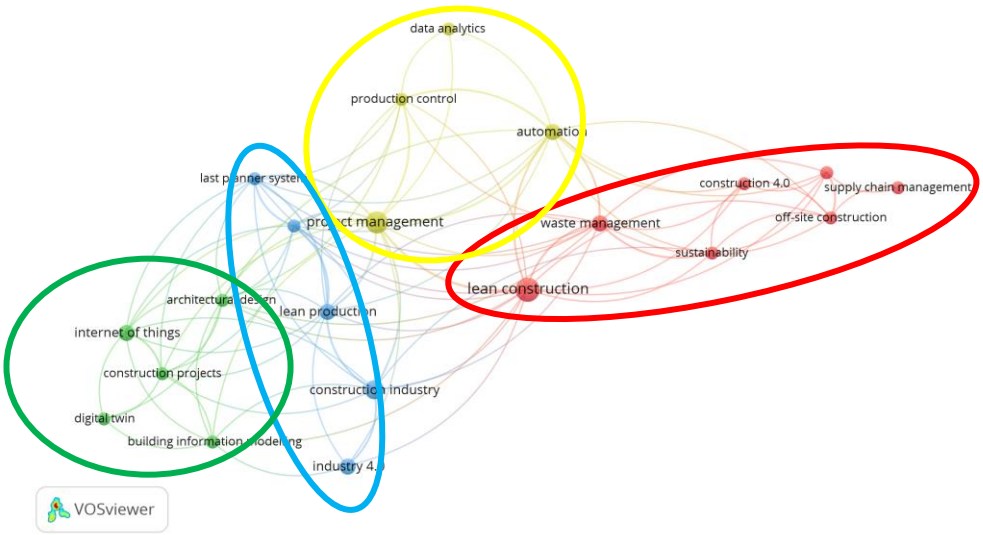
Os termos mais recorrentes foram *Lean-construction, Project-management* e *IoT.* Após a consulta da literatura é conclusivo que estes termos são de certa forma codependentes, já que em uma construção enxuta, o gerenciamento de projetos é uma das disciplinas mais importantes, já que por exemplo a maioria das ferramentas *lean* operam no âmbito gerencial. A IoT surge como uma ferramenta facilitadora do processo gerencial, em que operações e análises podem ser realizadas por dispositivos de forma mais eficiente e automatizada, como gerenciamento de estoque, fluxo de pessoas e máquinas, gestão em tempo real e descentralizada (Ur Rehman, Chaabane e Khan, 2021).

Demais palavras como *Automation, Sustainability, LPS, Building-Information-Modeling*, dentre outros, são assuntos derivados dos anteriormente descritos, com exceção da IoT. A IoT na verdade é uma disciplina advinda da indústria 4.0, porém é considerada como um dos principais assuntos para a existência desta, por isso observa-se um grande enfoque em estudos sobre IoT.

Análise dos clusters

Para identificação da interligação das palavras-chaves, os 24 documentos aprovados foram exportados para o *software* VOSviewer, ilustrado na Figura 5. Em cada nó é possível identificar uma palavra-chave; quanto maior este, maior a frequência desta. As linhas indicam a interligação entre as palavras e as cores representam os clusters.

Figura 5: Nuvem de interligações de palavras-chave



Fonte: O autor

Foram identificados quatro *clusters* formados a partir da extração de 21 palavras-chave, que estão descritos no Quadro 3.

Quadro 3: *Clusters* e palavras-chaves

BASE DE DADOS	PALAVRAS-CHAVE
Cluster 1 (vermelho)	*construction 4.0; lean construction; modular construction; off-site construction; supply chain management; sustainability; waste management.*
Cluster 2 (verde)	*architectural design; building information modeling; construction projects; digital twin; internet of things.*
Cluster 3 (azul)	*construction industry; continuous improvements; industry 4.0; last planner system; lean production.*
Cluster 4 (amarelo)	*automation; data analytics; production control; project management.*

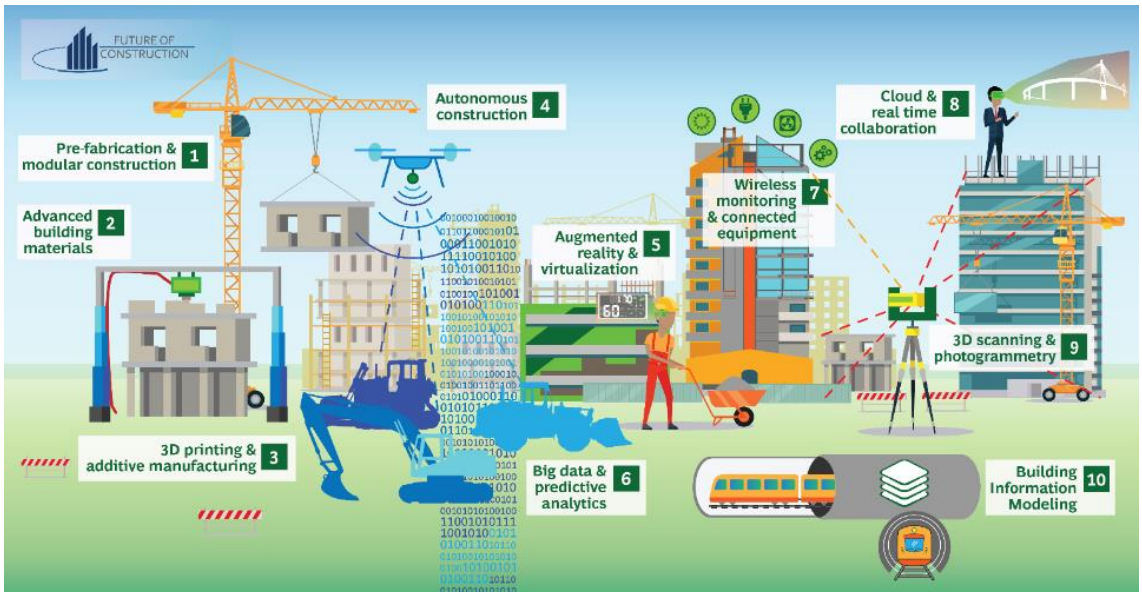
Fonte: O autor

É possível observar que o nó "*lean construction*" possui ligação com a maioria dos demais, porém não está ligado ao nó "*internet of things*". Isso se deve a alguns fatores, como o de que essa tecnologia é recente, logo pouco explorada e o fato de ser um meio para obter uma construção enxuta, que por si só não faz a construção ser enxuta.

Pela literatura observou-se que, o uso da IoT juntamente com os princípios da construção enxuta, permite melhorar a eficiência do setor da construção civil, já que os equipamentos IoT coletam continuamente dados em tempo real. Com os equipamentos IoT é possível obter dados físicos como umidade, temperatura, localização de máquinas e trabalhadores e até formar um modelo 3D do canteiro de obras através do LIDAR, que possibilita monitorar o progresso da obra e facilita manter o cronograma da construção atualizado. Com essas funcionalidades da IoT e junto ao BIM, é possível criar um modelo digital real do canteiro de obras, resultando no gerenciamento remoto da construção e tornando possível o compartilhamento deste com os demais *stakeholders* (Pal et al., 2023).

Com uma construção digitalizada, além de facilitar a comunicação entre diferentes setores e *stakeholders*, é possível detectar erros como atraso de cronograma, falhas de *design* e de execução de forma precoce, possibilitando ter uma tomada de decisão rápida e eficaz para mitigação, reduzindo desperdícios por retrabalhos (Piras, Muzi e Tiburcio, 2024) e, consequentemente, melhorando a produtividade e tornando a construção mais sustentável pela redução de resíduos gerados. Na Figura 6, apresenta-se uma exemplificação de uma construção digitalizada por meio de equipamentos IoT.

Figura 6: Equipamentos IoT em uma construção.



Fonte: *Future of Construction (World Economic Forum, 2018)*

Utilizando-se de tecnologias como IA e *machine learning* no gerenciamento, junto ao DT e BIM, torna-se possível a detecção de problemas e falhas antes mesmo de ocorrerem (Khan e Leicht, 2022), pois com dados de obras anteriores, estas tecnologias detectam padrões que antes causaram problemas. Essas capacidades descritas mostram o potencial de evolução da construção civil em relação as práticas tradicionais atualmente adotadas (Wang *et al*., 2024), que resultam em muitos erros, já que dependem das habilidades, experiências e limitações humanas dos profissionais responsáveis.

Com o uso dos princípios da construção enxuta com a IoT também foi possível observar uma otimização no fluxo de trabalho e redução de perdas. O LPS e Kanban podem ser melhor utilizados quando integrados a IoT, já que através da coleta de dados em tempo real, permite uma melhor gestão das informações em comparação com a metodologia tradicional (Sheikhkhoshkar *et al*., 2023), contribuindo assim para uma melhoria da eficiência da construção como um todo, resultando em menor perda de materiais por erros, reduzindo impactos ambientais e consumo de energia (Karmaoui *et al*., 2023; Ratajczak, Riedl e Matt, 2019).

Entretanto, na atualidade, o uso de tais tecnologias enfrenta dificuldades por ainda serem emergentes, principalmente para o setor da construção (Soares e Haito, 2023). Há muitas incompatibilidades entre os próprios dispositivos IoT e as plataformas BIM, que poderia já ser algo de funcionamento automatizado. É complexo realizar a alimentação do modelo digital com os dados obtidos pelos dispositivos (Feldmann, 2022); para que seja possível essa integração, são necessárias adaptações que hão de serem realizadas por profissionais especialistas nessas tecnologias, o que praticamente limita o emprego destas somente a pesquisas (Liu *et al*., 2020). A difusão da IoT é limitada pela ausência de interoperabilidade entre plataformas e pela baixa usabilidade dos dispositivos, o que exige parcerias entre fabricantes e desenvolvedores de *softwares* para tornar possível que a operação em conjunto dessas tecnologias seja intuitiva, despertando interesse em pessoas não especializadas em adotar o uso. Com isso, possivelmente haverá uma maior demanda para equipamentos IoT para construção, aumentando os investimentos e surgindo novas soluções de empresas fabricantes de equipamentos, tornando essas tecnologias mais acessíveis financeiramente para que pequenas e médias construtoras consigam adquiri-las, já que na atualidade exigem um grande investimento inicial para implantação (Lekan *et al*., 2022b).

No Quadro 4 é exemplificado alguns exemplos da IoT utilizada para a produção enxuta, evitando desperdícios conhecidos, segundo a literatura analisada.

Quadro 4: Relação entre o uso de tecnologias IoT para auxílio no controle de desperdícios

TIPO DE DESPERDÍCIO	TECNOLOGIAS IOT	COMO A IOT AUXILIA NO CONTROLE DE DESPERDÍCIOS
Superprodução	- RFID integrado com plataformas de gestão; - Gêmeos digitais; - Sensor de nível de estoque.	Com a utilização destas tecnologias é possível a visibilidade em tempo real do estoque e progresso da execução, permitindo o monitoramento do ritmo de produção, evitando excessos.
Defeitos	- Drones com sensores de qualidade do concreto; - IA para inspeção e análise; - Gêmeos digitais; -Realidade aumentada.	Com estas tecnologias é possível detectar defeitos no produto ou processo, ou até mesmo padrões falhos antes mesmo de ocorrerem através da IA, desta forma possibilitando tomadas de decisões de forma precoce.
Espera	- GPS; - RFID integrado a plataformas de gestão.	Com o rastreamento de equipamentos e materiais é possível otimizar os fluxos de trabalho, reduzindo tempos ociosos ou identificando tempo de inatividade de máquinas.
Potencial subutilizado	- *Wearables*; - Monitoramento com IA e análise de dados; - Plataforma de gestão de e análise de dados coletados; - Aplicativos de treinamento baseado nos dados.	Melhora das condições de trabalho em termos de segurança e ergonomia, delegação de tarefas para os funcionários de forma mais eficiente, estratégica e automatizada, e gestão de trabalhadores de forma individualizada para tarefas de acordo com o desempenho deste.
Processamento em excesso	- Monitoramento com IA e análise de dados; - Gêmeos digitais; - Realidade aumentada.	Monitoramento e coleta de dados dos processos, análise e identificação de ineficiências ou tarefas repetitivas e otimização das etapas.
Estoque	- Sensor de nível de estoque; - RFID e plataforma de gestão de materiais; - Análise, planejamento e gestão com auxílio de IA.	Controle dos níveis de estoque em tempo real, requisições de compras de forma automatizada, melhoria do *Just-In-Time*, e evita perdas ou vencimento de validade de materiais adquiridos.
Movimentação	- *Wearables*; - Sensores de presença e localização; - Análise do fluxo com auxílio de IA.	Otimização do *layout* do canteiro de obras, minimizando deslocamentos, e redução de retrabalhos e tarefas repetitivas de movimento.
Transporte	- RFID; - GPS; - Plataforma de gestão de frotas em tempo real; - Veículos autônomos com sensores.	Identifica deslocamentos desnecessários, otimiza a logística de rotas, e monitora a gestão de localização de materiais e equipamentos.

Fonte: O autor

Com o emprego da IoT no canteiro de obras é perceptível a alta capacidade de sucesso de uma construção e melhoria da eficiência segundo a literatura, projetos que integraram o uso da IoT no gerenciamento de obras conseguiram reduzir atrasos e desperdício de materiais, gerando uma maior transparência e controle na gestão do progresso (Heigermoser *et al*., 2019). Porém a literatura mostrou desafios para implementação no cenário atual, discutidas no Quadro 5 em quatro categorias; tecnológica, humana, organizacional e normativa.

Quadro 5: Desafios para implementação da IoT na construção enxuta

CATEGORIA	DESAFIO	DESCRIÇÃO RESUMIDA
Tecnológica	Visualização e monitoramento do progresso.	Monitorar o progresso de operação das atividades é desafiador; é necessário padronizar unidades de medidas como área, volume, peso entre os equipamentos e; o BIM, para análise do fluxo de trabalho, se mostrou limitado.
	Coleta e integração de dados.	Reconstruções para modelos 3D imprecisas, afetando registros automáticos; ruídos provocados por objetos dinâmicos no canteiro de obras; problemas de interoperabilidades entre BIM, GIS (*Geographic Information System*) e IoT e; levando em questão que a tecnologia IoT se encontra em rápido desenvolvimento, dispositivos tornam-se obsoletos rapidamente.
	Software e automação.	Os *softwares* tem suporte limitado para o LPS; dificuldade para calcular quantitativos no BIM de forma automática; dificuldade na integração entre robôs, equipamentos móveis e modelos 3D e; pouca disponibilidade de robôs voltados para a construção civil.
	IA e análise de produtividade.	Falta de pesquisa e dados para *machine learning*; ferramentas ainda não eficazes para identificar e reconhecer processos de forma automatizada e; dificuldade em avaliar a produtividade automaticamente.
Humana	Resistência à mudança.	Resistência a adoção do LPS; medo dos desafios gerados por mudanças; insegurança na adoção de novos métodos e práticas e; inércia na implementação de novas tecnologias.
	Conhecimento e capacitação.	Falta de conhecimento dos profissionais sobre o LPS e tecnologias, o que os impede de implementar diretrizes mais eficientes; pouca dedicação para treinamento e capacitação dos profissionais em conhecimentos operacionais e tecnológicos; métodos pedagógicos insatisfatórios e; falta de diretrizes para profissionais desempenharem princípios *lean* e operarem ferramentas tecnológicas na prática.
	Engajamento e comunicação.	Falta de colaboração e baixa confiança entre diferentes equipes; falta de consideração da relevância de alguns *stakeholders* como subcontratados; comunicação ineficaz entre diferentes *stakeholders* e; gerentes com pouca habilidade de gerenciamento.
	Impacto no operário.	Dúvidas sobre a viabilidade financeira e desempenho de equipamentos robóticos operando na produção; dúvidas sobre adaptação de equipamentos automatizados em diferentes tarefas; preocupação pela necessidade de tempo e custo para treinamentos e; medo da substituição da mão de obra por robôs.
Organizacional	Cultura e estrutura da indústria.	Resistência cultural a inovações; baixo emprego de tecnologias; processos majoritariamente artesanais, dificultando difusão de experiências com tecnologias e; uma construção possui uma diversidade de processos complexos.
	Planejamento e processos.	Metodologia tradicional é estática, ignora a natureza dinâmica do ambiente de construção, que comumente ocorre eventos inesperados; falta de inovação em métodos de gestão; falta de integração entre processos; a coleta e gestão de dados históricos para *machine learning* é complexa; a falta de padronização de processos dificulta a obtenção de dados e planejamento, o que torna cada construção uma espécie de protótipo e; a necessidade de dados anteriores para utilização de tecnologias como parâmetro base.
	Gestão de recursos e financeira.	Custo inicial de implantação de tecnologias para gerenciamento e automação elevado; custo fixo de manutenção e operação de pessoal e tecnologias elevado e; falta de conhecimento ou percepção de benefícios que podem ser obtidos a médio e longo prazo.
Normativa	Regulamentação e legislação.	Normas desatualizadas e voltadas para métodos construtivos com baixo uso de tecnologias e; incompatibilidades normativas referentes à adoção de automação em alguns processos, principalmente em casos de construções modulares.
	Licenciamento e permissões.	Falta de padronização para obter permissões legais; tempo de obtenção de licenças e permissões desproporcionalmente longos em relação à construção e; falta de uma definição clara dos métodos de construção para obtenção de financiamento de construções pré-fabricadas, o que afeta a demanda por investimentos em automação.
	Processos de contratação e concorrências.	Editais desajustados às tecnologias modernas; foco excessivo no preço e; pouca consideração em critérios como qualidade e digitalização.

Fonte: O autor

A partir do desenvolvimento e difusão dessas tecnologias, será possível cada vez mais aplica-las na construção enxuta (Zhao, 2022) de forma mais eficiente e intuitiva, o que irá chamar atenção de empresas construtoras, que recorrerão ao uso destas, desta forma empregando o conceito da construção 4.0 na indústria. Sendo assim, será possível ter obras digitalizadas e mais produtivas, com menos atrasos, menos geração de resíduos (AlBalkhy *et al*., 2023; Oprach *et al*., 2019; Xing *et al*., 2021), melhorando todos os pontos dos quais a indústria da construção civil é reconhecida por suas ineficiências.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da realização da RSL foi possível investigar e sistematizar o atual panorama sobre o uso da IoT no gerenciamento da construção enxuta. E assim, contribuir mostrando os benefícios e identificando os principais desafios enfrentados, para que pesquisadores, empresas ou desenvolvedores de tecnologias possam buscar por possíveis soluções. A IoT apresenta grande potencial para o setor, sendo o caminho para a construção 4.0. O uso da IoT integrada com BIM e LPS, permite a automação e digitalização de processos, essa integração possibilita um gerenciamento em tempo real, melhor controle de processos, detecção de erros em estágios iniciais, e redução de desperdícios, resultando na melhoria da produtividade e sustentabilidade do setor.

Contudo foram identificados desafios que limitam a utilização destas tecnologias no cenário prático. As pesquisas indicam muitas incompatibilidades entre os próprios equipamentos IoT e os *softwares* BIM. A dificuldade de interoperabilidade entre as tecnologias, falta de mão de obra qualificada e resistência cultural a adoção de novas práticas pelo setor são entraves para difusão da IoT na construção 4.0. O desenvolvimento tecnológico para uso e operação das tecnologias de forma intuitiva é essencial para permitir a difusão destas.

Para futuras pesquisas recomenda-se executar estudos de casos que analisem a viabilidade e desempenho do uso integrado da IoT com ferramentas *lean* em construções reais e estudar soluções para uso destas tecnologias em plataformas mais intuitivas de forma integrada e automatizada. Também é necessário estudar qual o nível de maturidade em capacitação técnica nestas tecnologias o profissional deve ter, visando obter o panorama da complexidade atual de operação e assim poder desenvolver soluções para deixar o uso mais intuitivo, visando ampliar a difusão e aplicação prática destas tecnologias e ferramentas da construção 4.0. Desta forma, canteiros de obras digitalizados serão comuns na prática corriqueira, auxiliando o setor ser mais produtivo, com melhor gerenciamento, menos desperdícios e consequentemente agregando mais valor para os *stakeholders*, diminuindo custos de produção e dando melhor poder de aquisição para população, minimizando problemas como o déficit habitacional.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALBALKHY, Wassim; RANKOHI, Sara; LAFHAI, Zoubeir; IORDANOVA, Ivanka; VELASQUEZ, Jorge Mauricio Ramirez; BOURGAULT, Mario; PELLERIN, Robert. Lean and Iot Integration to Improve Flow in Construction Prefabrication: a Proposed Framework. **Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31***)*, 836-845, Lille, França, 2023. doi.org/10.24928/2023/0260

BALLARD, Herman Glenn. THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL. **Tese de doutorado. School of Civil Engineering. The University of Birmingham,** 2000. Disponível em: https://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4789/1/Ballard00PhD.pdf. Acesso em 01/07/2025.

DAVE, B.; KUBLER, S.; FRÄMLING, K.; KOSKELA, L. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. **Automation in Construction**, v. 61, p. 86–97, 1 jan. 2016. doi.org/10.1016/j.autcon.2015.10.009

FELDMANN, Finn Günther. Towards Lean Automation in Construction—Exploring Barriers to Implementing Automation in Prefabrication. **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 19, 1 out. 2022. doi.org/10.3390/su141912944

KHAN, Muhammad Amir Hamza; LEICHT, Robert. Categorization of Construction Tasks for Robotics Using Lean vs Value-Added Effectiveness Framework. *Proc.* **30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 832-843., Edmonton, Canadá, 2022. doi.org/10.24928/2022/0195

HEIGERMOSER, Daniel; SOTO, Borja García de; ABBOTT, Ernest Leslie Sidney; CHUA, David Kim Huat. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246–254, 1 ago. 2019. doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019

HEYL, Jakob Von; DEMIR, Selim-Tugra. Digitizing lean construction with building information modeling**. Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 843-852., Dublin, Irlanda, 2019. doi.org/10.24928/2019/0122

JAIN, Mayur Shirish; SUDARSAN, Jayaraman Sethuraman; PARIJA, Padma Priyadarshini. Managing construction and demolition waste using lean tools to achieve environmental sustainability: an Indian perspective. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 19, p. 57188–57200, 1 abr. 2023. doi.org/10.1007/s11356-023-26445-z

KARMAOUI, Dorra; ALBALKHY, Wassim; LAFHAJ, Zoubeir; CHAPISEAU, Christophe. Lean and Industry 4.0 in Brick Manufacturing: A Digital Twin-Based Value Stream Mapping Proposed Framework. **Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)**, 230-241, Lille, França, 2023. doi.org/10.24928/2023/0259

KOSKELA, Lauri. APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION. **CIFECENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING**, 1992. Disponível em: < https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2025.

LEKAN, Amusan; CLINTON, Aigbavboa; FAYOMI, Ojo Sunday Isaac; JAMES, Owolabi. Lean thinking and industrial 4.0 approach to achieving construction 4.0 for industrialization and technological development. **Buildings**, v. 10, n. 12, p. 1–27, 1 dez. 2020. doi.org/10.3390/buildings10120221

LEKAN, Amusan; CLINTON, Aigbavboa; STELLA, Essien; MOSES, Emetere; BIODUN, Obaju. Construction 4.0 Application: Industry 4.0, Internet of Things and Lean Construction Tools' Application in Quality Management System of Residential Building Projects. **Buildings**, v. 12, n. 10, 1 out. 2022. doi.org/10.3390/buildings12101557

LIU, Canlong; GONZÁLEZ, Vincente A.; LIU, Jiamou; RYBKOWSKI, Zofia; SCHÖTTLE, Annett; ÁLVAREZ, Claudio Mourgues; PAVEZ, Ignacio. Accelerating the last planner system® (LPS) uptake using virtual reality and serious games: A sociotechnical conceptual framework. **Proc. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 481-492, Berkeley, CA, Estados Unidos, 2020. doi.org/10.24928/2020/0058

RIVERA, Felipe Muñoz La; SERRANO, Javier Mora; VALERO, Ignácio; OÑATE, Eugenio Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 28, n. 2, p. 689–711, 1 mar. 2021. doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9

MUNZLINGER, Elizabete; NARCIZO, Fabricio Batista; QUEIROZ, José Eustáquio Rangel de. Sistematização de revisões bibliográficas em pesquisas da área de IHC. **Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais** jun. 2012. Disponível em: < https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/download/122/538/824?inline=1>. Acesso em: 28 abr. 2025.

MUSA, Mukrari M.; DANIEL, Emmanuel I.; AHMED, Namadi S.; ENEDAH, Ifeatu C. Evaluating the Usability of the Leanbuild Software Application After the Design Stage. **Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)**, 254-265, Lille, França, 2023. doi.org/10.24928/2023/0265

OPRACH, Svenja; STEUER, Dominik; KRICHBAUM, Viktoria; HAGHSHENO, Shervin. Smart data - Dealing with task complexity in construction scheduling. **Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 347-358, Dublin, Irlanda, 2019. doi.org/10.24928/2019/0155

PAL, Aritra; LIN, Jacob J.; HSIEH, Shang-Hsien; FARD, Mani Golparvar-. Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital Twin. **Developments in the Built Environment, Elsevier Ltd,** 2023. doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100247

PIRAS, Giuseppe; MUZI, Francesco; TIBURCIO, Virginia Adele. Digital Management Methodology for Building Production Optimization through Digital Twin and Artificial Intelligence Integration. **Buildings**, v. 14, n. 7, 1 jul. 2024. doi.org/10.3390/buildings14072110

RATAJCZAK, Julia; RIEDL, Michael; MATT, Dominik T. BIM-based and AR application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance. **Buildings**, v. 9, n. 5, 2019. doi.org/10.3390/buildings9050118

REINBOLD, Ana; SEPPÄNEN, Olli; PELTOKORPI, Antti; SINGH, Vishal; DROR, Erez. Integrating indoor positioning systems and BIM to improve situational awareness. **Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 1141-1150, Dublin, Irlanda, 2019.doi.org/10.24928/2019/0153

SACKS, Rafael; BRILAKIS, Ioannis; PIKAS, Ergo; XIE, H. Sally; GIROLAMI, Mark. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, v. 1, n. 6, 27 nov. 2020. doi:10.1017/dce.2020.16

SENTHIL, J.; MUTHUKANNAN, Muthiah. Development of lean construction supply chain risk management based on enhanced neural network. **Materials Today: Proceedings**, p. 1752–1757, 2022. doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.456

SHEIKHKHOSHKAR, Moslem; EL-HAOUZI, Hind Bril; AUBRY, Alexis; HAMZEH, Farook; POSHDAR, Mani. Analyzing the Lean Principles in Integrated Planning and Scheduling Methods. **Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)**, 1196-1207, Lille, França, 2023. doi.org/10.24928/2023/0159

SOARES, Gabrielle Silva; OVIEDO-HAITO, Ricardo. Barreiras para a adoção de práticas e tecnologias vinculadas com a Construção 4.0. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO**. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–9. doi.org/10.46421/sibragec.v13i00.2628

SUAREZ, Juan C.; ZAPATA, Jaime; BRIOSO, Xavier. Using 5D models and CBA for planning the foundations and concrete structure stages of a complex office Building. **Proc. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC),** 913-924, Berkeley, CA, Estados Unidos, 2020. doi.org/10.24928/2020/0131

TOMMELEIN, Iris D.; RILEY, David R.; HOWELL, Gregory A. PARADE GAME: IMPACT OF WORK FLOW VARIABILITY ON TRADE PERFORMANCE. **JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 1999. doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:5(304)

REHMAN, Muhammamd Atiq Ur; CHAABANE, Amin; KHAN, Sharfuddin Ahmed. REVIEW OF CONSTRUCTION SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION PAPERS FOR PERFORMANCE IMPROVEMENT. **Proc. 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, 974-984, Lima, Peru, 2021. doi.org/10.24928/2021/0132

WANG, Zhong; SABEK, Mohamed; WU, Yulun; MEI, Qipei; LEE, Gaang; GONZÁLEZ, Vincente A.. Digital Twin Based Integrated Decision Support System for Enhanced Decision-Making in the Last Planner System. **Proceedings of the 32nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 32)**, 609-621, Auckland, Nova Zelândia, 2024. doi.org/10.24928/2024/0117

WORLD ECONOMIC FORUM. Future of Construction. **World Economic Forum**, 2018.

Disponível em: < https://www.weforum.org/stories/2018/03/how-construction-industry-can-build-its-future/>. Acesso em: 28 abr. 2025.

XING, Weiqi; HAO, Jianli L.; QIAN, Liang; TAM, Vivian W. Y.; SIKORA, Karol S. Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, 1 mar. 2021. doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124944

ZHAO, Weishu. Research on Project Management System of Prefabricated Bridge of Jinzhai Road Viaduct South Extension in Hefei Based on Cloud Platform. **Wireless Communications and Mobile Computing**, v. 2022, p. 1–13, 28 jan. 2022. doi.org/10.1155/2022/2664984