Industrialização, Digitalização, Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção e 5º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

[1]IDENTIFICAÇÃO DO USO DE MODELOS BIM APLICADOS PELA GESTÃO LEAN CONSTRUCTION

Succars' Model Uses in Lean Management

Gabriel da Silva Macedo
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil | São Carlos, São Paulo | gabrielmacedo@estudante.ufscar.br

Priscila Mirapalhete Rodegheri
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil | São Carlos, São Paulo | priscilamr@ufscar.br

Cristiane Bueno
Departamento de Engenharia Civil | São Carlos, São Paulo | cbueno@ufscar.br

Sheyla Mara Baptista Serra
Departamento de Engenharia Civil | São Carlos, São Paulo | sheylabs@ufscar.br

RESUMO

Desde os anos 2000, a adoção da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) tem sido crescente a fim de otimizar processos em Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Em paralelo, tem sido empregados os princípios da filosofia de gestão *Lean Construction (LC)* visando melhorar os fluxos nos projetos e processos. No entanto, não se identifica uma estrutura consolidada que organize a aplicação conjunta dessas diferentes abordagens, dificultando uma sistematização de colaboração entre os usos de modelos BIM com os princípios e ferramentas *lean*. Com isso, este trabalho tem como objetivo identificar os usos mais frequentes de modelos BIM em empreendimentos da AECO que adotam abordagens de gestão LC. Adotou-se o método de Revisão Sistemática da literatura (RSL), identificando 42 artigos de estudos práticos que contribuíram para o objetivo traçado. Os resultados indicam que os usos gerais mais recorrentes estão relacionados às disciplinas de arquitetura e estruturas, enquanto os usos de domínio mais recorrentes são relacionados ao detalhamento tridimensional e ao planejamento de obras. Concluiu-se que a aplicação de BIM como ferramenta *lean* ainda é predominantemente restrita à fase de projeto, sendo necessários novos estudos que conectem os usos de modelos BIM e os princípios LC, correlacionando ferramentas para a solução de problemas.

Palavras-chave: Construção Enxuta; Modelagem da Informação da Construção; MIC; Uso de Modelo.

ABSTRACT

Since the 2000s, the adoption of Building Information Modeling (BIM) technologies has been increasing to optimize processes in Architecture, Engineering, Construction, and Operation (AECO). These technologies are often employed as a Lean Construction (LC) management tool to improve project workflows. However, there is no consolidated framework that organizes the joint application of these methodologies, making it difficult to systematize how BIM model uses contribute to lean practices. Thus, this study aims to identify the most frequent BIM model uses in AECO projects that adopt LC management approaches. A Systematic Literature Review (SLR) method was applied, identifying 42 articles on practical studies that contributed to the proposed objective. The results indicate that the most recurrent general uses are related to architecture and structural disciplines, while the most frequent domain-specific uses involve three-dimensional detailing and construction planning. It is concluded that the application of BIM as a lean tool remains predominantly limited to the design phase, highlighting the need for further studies that connect BIM model uses with LC principles, correlating tools for problem-solving.

Keywords: *Lean Construction, Building Information Modelling, BIM, Model Uses.*

1 INTRODUÇÃO

A Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) enfrenta desafios históricos relacionados a baixa produtividade e qualidade de seus produtos. Estes desafios podem ser mitigados com a adoção de estratégias desde a fase de projeto do produto, para isso, é fundamental a adoção de processos e gestão adequada dos projetos, criando soluções simples e funcionais, evitando características excessivas e complexidade desnecessária (KNOTTENA *et al*., 2017; POPPENDIECK; POPPENDIECK, 2013). A filosofia *Lean Construction* (LC) é uma estratégia de gestão que vem sendo adotada na AECO desde a década de 90 e tem por objetivo a redução de desperdícios através da otimização dos processos que agregam valor ao produto (KOSKELA, 1992; WOMACK; JONES, 2003). Koskela (1992) identificou onze princípios que devem ser almejados para a implantação efetiva da mentalidade *lean* na construção civil.

[1]MACEDO, G. S., RODEGHERI, P. M., BUENO, C., SERRA, S. M. B. Identificação do uso de modelos BIM aplicados pela gestão lean construction. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2025.

A tecnologia vinculada à etapa de projeto do produto da AECO tem evoluído significativamente desde o início dos anos 2000, em especial com o *Building Information Model* (BIM) (EASTMAN et al., 2014; SUCCAR, 2009). Essa abordagem projetual é baseada em modelos capazes de armazenar informações parametrizadas, como material, custo, prazo para execução, processos de manutenção, meios de prevenção de acidentes de trabalho na fase de construção, entre outras, além das informações dimensionais (SUCCAR E POIRIER, 2020). O processo projetual via modelos multidisciplinares BIM permite a interoperabilidade entre diferentes tecnologias e trabalho simultâneo de diferentes especialidades de projeto, otimizando o fluxo de informação e permitindo que os interessados estejam envolvidos na fase de elaboração do projeto do produto (SHEHZAD et al., 2021).

Desse modo, buscando ampliar a compreensão sobre BIM, foram estabelecidos diferentes usos para os modelos multidisciplinares utilizados ao longo de todo ciclo de vida de empreendimentos da AECO (SUCCAR *et al*., 2016; SUCCAR & POIRIER, 2020). Sendo assim, os modelos contemplam e agrupam inúmeras informações a respeito do empreendimento, e permitindo comunicação melhor e mais assertiva entre as partes interessadas em todas as fases do ciclo de vida. Contudo, a vasta gama de aplicações amplia a complexidade de compreensão e conexão do fluxo de e do entendimento da metodologia BIM nas diferentes etapas do processo construtivo (SUCCAR & POIRIER, 2020). A fim de ordenar, classificar e orientar sobre essas aplicações dos modelos multidisciplinares e da metodologia BIM, foram estabelecidos 128 usos de modelos, divididos em três categorias (SUCCAR *et al*., 2016; SUCCAR & POIRIER, 2020).

Tendo isso em vista, compreende-se que a adoção conjunta de princípios e ferramentas de gestão *lean,* de modelos multidisciplinares e de metodologia BIM tem como objetivo comum otimizar os processos da AECO e, com isso, reduzir desperdícios, agregando valor ao produto e garantindo o fluxo adequado de insumos, inclusive de informações. Observa-se crescente adoção conjunta dessas práticas, contudo não há organização dos usos conjuntos, ou seja, não é possível identificar em que momentos e de qual forma BIM e *lean* colaboram entre si.

Com isso, o objetivo deste trabalho é identificar quais os usos de modelos mais frequentes em empreendimentos da AECO que adotam abordagem de gestão baseada em LC. Para isso, uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida para responder à pergunta: "*Quais são os usos de modelos multidisciplinares aderidos à gestão LC?"* A adoção do método de RSL se deu a fim de explorar a produção científica da temática abordada de modo estruturado, mantendo o rigor, sumarizando os resultados, e possibilitando reprodutibilidade futura, sendo possível verificar a evolução sobre os usos recorrentes de modelos em trabalhos futuros (SIDDAWAY et al., 2019).

2 LEAN CONSTRUCTION E USOS DE MODELO

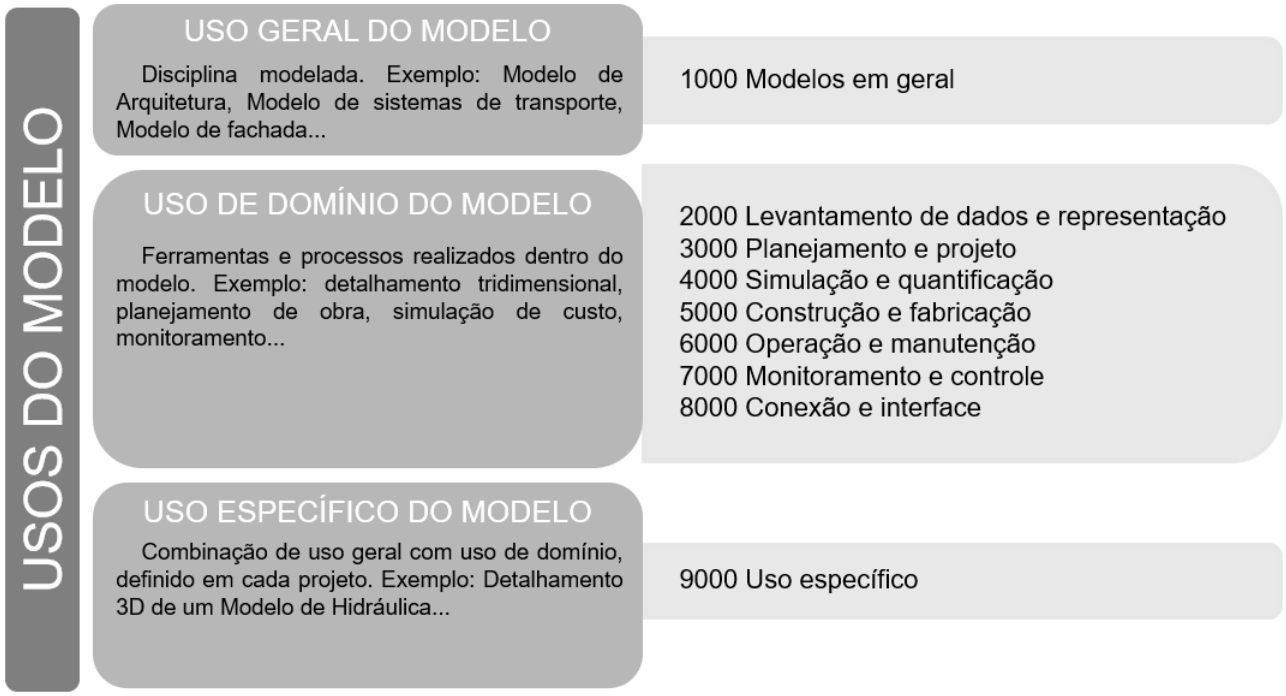
A adoção da filosofia LC tem se intensificado nos últimos anos, sendo a abordagem de gestão *lean* atuando nas esferas econômica, social e do ambiente empresarial em que é aplicada (GONTIJO et al., 2018). Sendo assim, a adoção de LC envolve o estudo dos processos, buscando otimizar as etapas de transformação do insumo em produto, ou seja, as etapas que geram valor ao cliente, e eliminar ou reduzir as demais etapas, etapas que não agregam valor (ALHAVA *et al*., 2019; WOMACK & JONES, 2003). Desse modo, as otimizações propostas passam inicialmente pelo Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) da empresa, setor ou etapa em análise, sendo essa uma das ferramentas mais difundidas do LC (ARAYICI *et al*., 2011; DEMIRKESEN & BAYHAN, 2019; SACKS *et al*., 2010). Além disso, LC é difundida para ganho de assertividade no desenvolvimento do planejamento e acompanhamento deste em canteiro de obras, outra ferramenta amplamente difundida é o *Last Planner System* (BALLARD, 2002; SACKS *et al*., 2020).

Apesar de oferecer a redução dos desperdícios por meio da otimização dos processos, a gestão LC torna-se difícil de ser mantida sem o suporte da tecnologia (SACKS *et al*., 2010), conforme comprovado por uma base sólida de conhecimentos e técnicas tanto em ambiente corporativo como acadêmico. Além disso, o desenvolvimento de projetos (de produto ou de processo) adequados e com soluções coerentes, exigem intensa troca de informações e colaboração entre diferentes partes interessadas, sejam clientes, projetistas, consultores, contratantes, fornecedores, construtores, entre outros (KOSKELA, 1992; SUCCAR *et al*., 2016). Nesse aspecto, cada vez mais a tecnologia dá suporte à adoção *lean* e possibilita a integração com diferentes áreas, ampliando a capacidade de solução de problemas, esse é o principal potencial da sinergia entre *lean* e os modelos BIM (SACKS *et al*., 2010; SACKS *et al*., 2020).

A sinergia LC e BIM já foi explorada em diversas áreas, muitas vezes focando na intersecção entre o planejamento e o modelo tridimensional, tendo ferramentas bem estruturadas para tal integração (SACKS *et al*., 2020). Contudo, BIM e o uso de modelos multidisciplinares não se restringem à incorporação de informações temporais, referentes ao planejamento, ao modelo tridimensional. Também podem ser incluídas informações relativas a custo, sustentabilidade, uso e operação, segurança do trabalho, fabricação, experiência do usuário, entre outras. Alguns autores classificaram essas informações incluídas ao modelo tridimensional como dimensões, nomeando-as como BIM 4D, 5D e assim por diante. Contudo, não há consenso na literatura sobre quais são as informações atribuídas a cada dimensão. Além disso, essa nomenclatura induz a concepção de que a dimensão 5D necessitaria da existência e do uso da 4D, o que não é verdadeiro (CHAREF, 2022; EASTMAN *et al*., 2014).

A partir disso, as aplicações de BIM passaram a ser compreendidas e distribuídas em diferentes usos identificados para os modelos (SUCCAR *et al*., 2016). Atualmente são estabelecidos 128 usos, divididos em 3 categorias, apresentados na Figura 1, e este modelo permanece em constante atualização a fim de acompanhar as evoluções na área (SUCCAR & POIRIER, 2020).

Figura 1: Usos do modelo



Fonte: Os autores, baseado em Succar & Poirier (2020).

3 MÉTODO

A fim de atender aos objetivos desta pesquisa, a Revisão Sistemática de Literatura (SLR), foi adotada como método principal, baseado no PRISMA (MHOER *et al*., 2010). Essa decisão tem por objetivo manter o rigor da pesquisa e minimizar o viés, sistematizando o conhecimento que engloba a temática proposta e extraindo dos documentos os usos de modelos (MILES *et al*. 2014; SIDDAWAY et al., 2019). Quatro etapas foram estruturadas para o desenvolvimento desta pesquisa, conforme apresentado no

Quadro 1, descrevendo as ferramentas de apoio utilizadas em cada etapa, entre parênteses.

O

Quadro 1 também apresenta a *string* de busca utilizada nas bases de dados Scopus e Web of Science. Para a construção da *string* foram realizadas buscas exploratórias a fim de verificar a assertividade dos termos adotados. O termo "*lean*" foi utilizado para abranger o universo relacionado a projetos e empreendimentos de construção que adotam esta abordagem nos processos de gestão, nas buscas exploratórias se identificou que o termo era adequado e suficiente para retornar as informações pertinentes a essa temática. Os termos "BIM" e "*building information model**" foram adotados para abranger o universo relacionado a modelos utilizados em projetos e empreendimentos de construção, verificou-se que os termos retornaram resultados focados na área de busca, em especial com a adoção do marcador "*" ao final da palavra *model*. O termo "modelo" ou "*model*", em inglês, foi adotado em buscas exploratórias, contudo, os documentos obtidos com a inclusão desse termo se distanciavam da área desta pesquisa, com isso, não foi adotado na *string* de busca. Outra base de dados utilizada para pesquisa foram os anais do evento *International Group of Lean Construction* (IGLC) disponibilizado na plataforma do grupo. Na plataforma exclusiva de abordagem *lean*, foi adotado apenas a *string* com o termo "BIM", pois agrupava maior número de resultados, incluindo os resultados quando utilizado o termo "*building information model**".

Quadro 1: Etapas da pesquisa

ETAPA	ATIVIDADES
Questões de pesquisa	(Q1) *Quais são os usos de modelos multidisciplinares aderidos à gestão LC?*
Seleção das bases de dados	**String: TITLE-ABS-KEY (*lean*) AND (BIM OR "*building information model**")** Scopus Web of Science Anais do evento International Group of Lean Construction (IGLC)
Identificação da amostra	Pesquisa da string de busca em título, palavras chaves e resumo Buscas realizadas em março de 2025
Adoção de filtros	Língua inglesa Documentos revisados por pares
Processamento da amostra	Exportação de metadados das bases Remoção de duplicatas (Parsif-al) Seleção inicial: Leitura de título, palavras chaves e resumo (Parsif-al) Pareto: Delimitação de artigos com 80% das citações da amostra (Excel) Seleção final: Leitura dos e codificação (NVivo) Análise descritiva (Excel) Análise de conteúdo (Excel e NVivo)

Fonte: Os autores.

Após a definição dos termos de busca e das bases de dados a serem utilizadas, foram aplicados os filtros de língua em inglesa e de revisão por pares. A partir disso, os metadados dos documentos resultantes foram extraídos e incluídos na ferramenta online Parsif-al para avaliação dos títulos, resumos e palavras-chave e seleção dos documentos. Nessa etapa, foram excluídos os documentos duplicados entre as bases de dados e foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão apresentados no Quadro 2. Essa etapa resultou em 161 documentos com o total de 3.741 citações ao todo. A fim de reduzir a amostra a ser analisada, utilizou-se o princípio de Pareto, considerando que, dentre os documentos mais citados, os trabalhos que possuem o volume acumulado de 80% das citações representam adequadamente a amostra.

Desse modo, 43 documentos que possuem ao todo 3.006 citações e o único documento cujo número de citações não foi identificado nas bases de dados foram selecionados para leitura integral. Sendo assim, foram acessados os arquivos dos 44 documentos e inclusos no software de análise de dados NVivo para a seleção final e codificação, a partir da leitura integral dos documentos. Na etapa de leitura integral dos documentos, dois documentos não atendiam aos critérios de inclusão, sendo excluídos nessa fase. Assim, a amostra final foi de 42 documentos, conforme

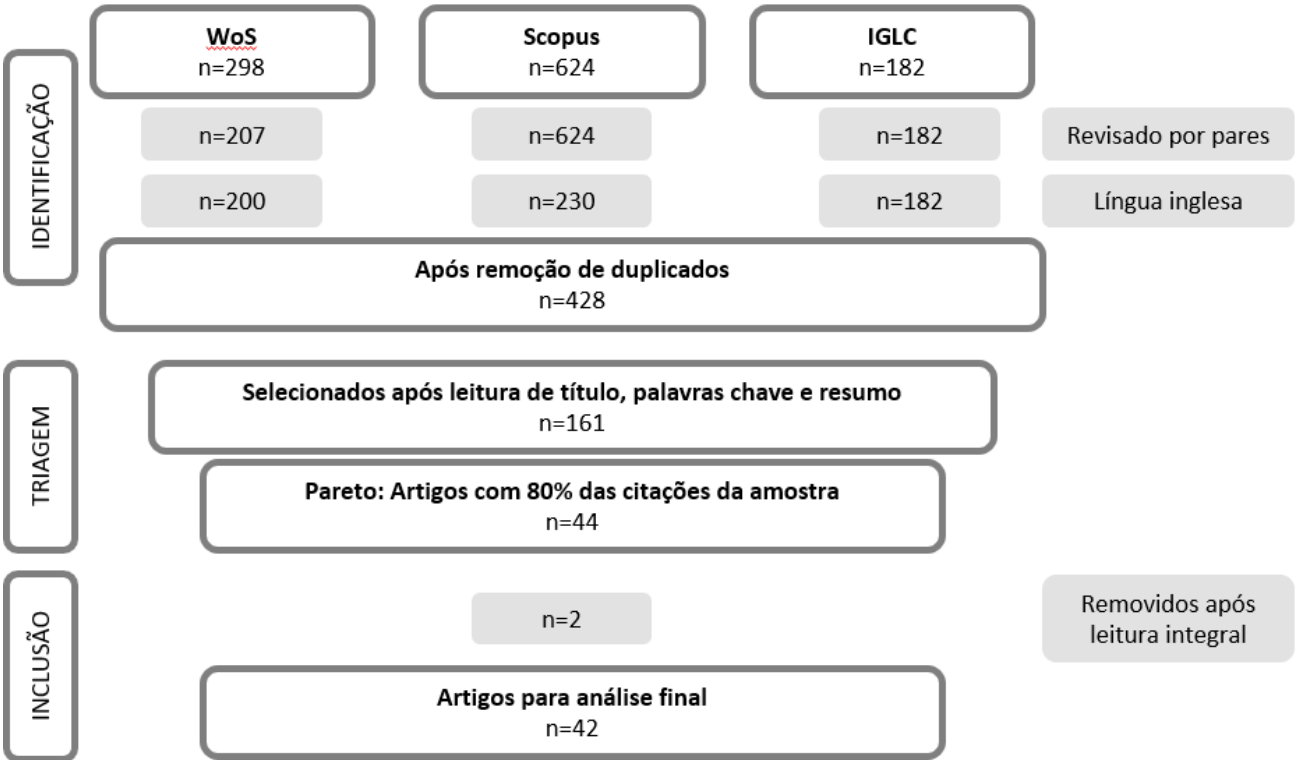
Figura 2.

Quadro 2: Critérios de inclusão e exclusão

CRITÉRIO	INCLUSÃO	EXCLUSÃO
Acesso	Escrito em língua inglesa	Não escrito em língua inglesa
Tipo de documento	Artigos revisados por pares de revistas científicas e do IGLC	Revistas e jornais não acadêmicos, livros, conferências com exceção do IGLC, relatórios e sites de internet
Foco	Relativo a projetos e empreendimentos de construção que utilizaram *lean* de alguma forma, seja na implantação de uma ferramenta ou no mapeamento do fluxo de valor Relativos à adoção de modelos e BIM tendo realizado ou estudado o processo de modelagem	Conceitos relacionados a lean como sinônimo de gordura Relativos a *lean* fora da área da indústria da construção Relativos a modelos e BIM sem a realização ou estudo do processo de modelagem
Unidade de análise	Indústrias, projetos, sistemas de gestão ou sistemas de produção	Saúde, educação, pecuária, energia, ciência pura
Método adotado	Estudos práticos, como estudos de caso e *Designe Science Research*, entre outros	Estudos empíricos, como RSL ou *Survey*
Pareto	Pertence ao agrupamento de 80% dos documentos mais citados da amostra	Pertence ao agrupamento de 20% dos documentos menos citados da amostra
Seleção final	Contribuiu com a codificação adotada para a resposta da pergunta de pesquisa	Não contribuiu com a codificação adotada para a resposta da pergunta de pesquisa

Fonte: Os autores.

Figura 2: Fluxograma PRISMA de seleção dos documentos



Fonte: Os autores.

4 RESULTADOS

4.1 Análise descritiva

A amostra dos 42 documentos analisados para responder à pergunta dessa pesquisa é composta por documentos publicados desde 2009 até 2023, contendo 2.942 citações, ao todo, conforme gráfico apresentado na

Figura 3. Destaca-se novamente que esses 42 documentos contêm 80% das citações da amostra e um documento cujo número de citações não foi possível identificar, publicado em 2013. Por isso, o número de publicações apresentado na

Figura 3 para esse ano está com cor de fundo diferenciada. Ademais, observa-se através da linha de tendência tracejada que o número de publicações cresceu ao longo dos anos, demonstrando a disseminação do uso de modelos de construção em empreendimentos e projetos que adotam *lean* em sua gestão.

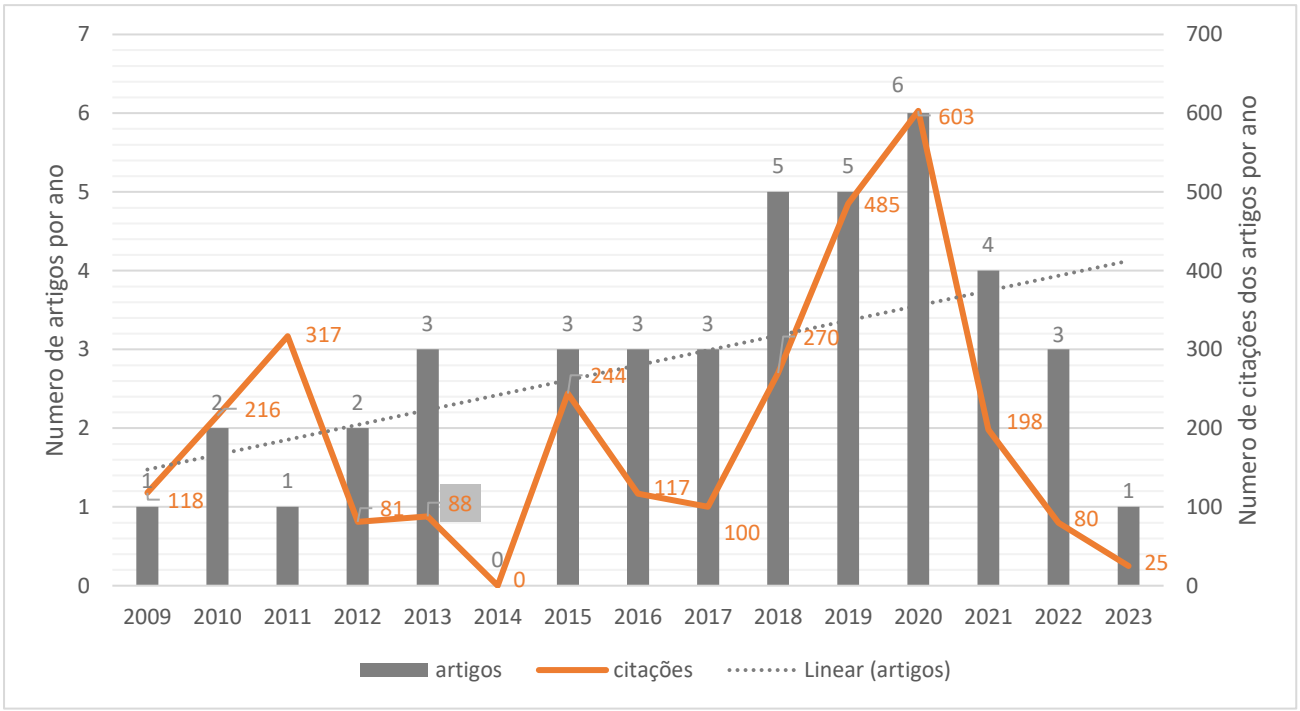
Verifica-se que o ano de 2020 possui o maior número de publicações e o maior número de citações dos artigos publicados nesse ano, destaca-se a publicação de Sacks *et al*. (2020) com 373 citações, publicação com maior número de citações da amostra, representando 62% das citações das publicações de 2020. Os anos de 2018 e 2019 também possuem volume considerável de publicações da amostra, contudo, os textos publicados em 2018 não foram tão citados como os publicados em 2019. Para o ano de 2018, nenhuma das cinco publicações chegou a 100 citações, metade do número médio de citações por ano dessa amostra. Contudo, para o ano de 2019, quatro das cinco publicações possuem mais de 100 citações, repercutindo a relevância destas na amostra. Destaque especial ao ano de 2011, com apenas uma publicação contendo 317 citações, sendo a segunda mais citada da amostra, trata-se do trabalho de Arayici *et al*. (2011).

Quando observados os meios publicadores mais recorrentes na amostra, *Automation in Construction* e os Anais do IGLC se destacam, com 17% e 14% do total de publicações da amostra, respectivamente, conforme

Figura 4. O terceiro meio publicador mais recorrente é a revista *Engineering Construction and Architectural Management*, com 10% das publicações. As outras 17 revistas identificadas possuem menos de 7% de publicações cada, conforme

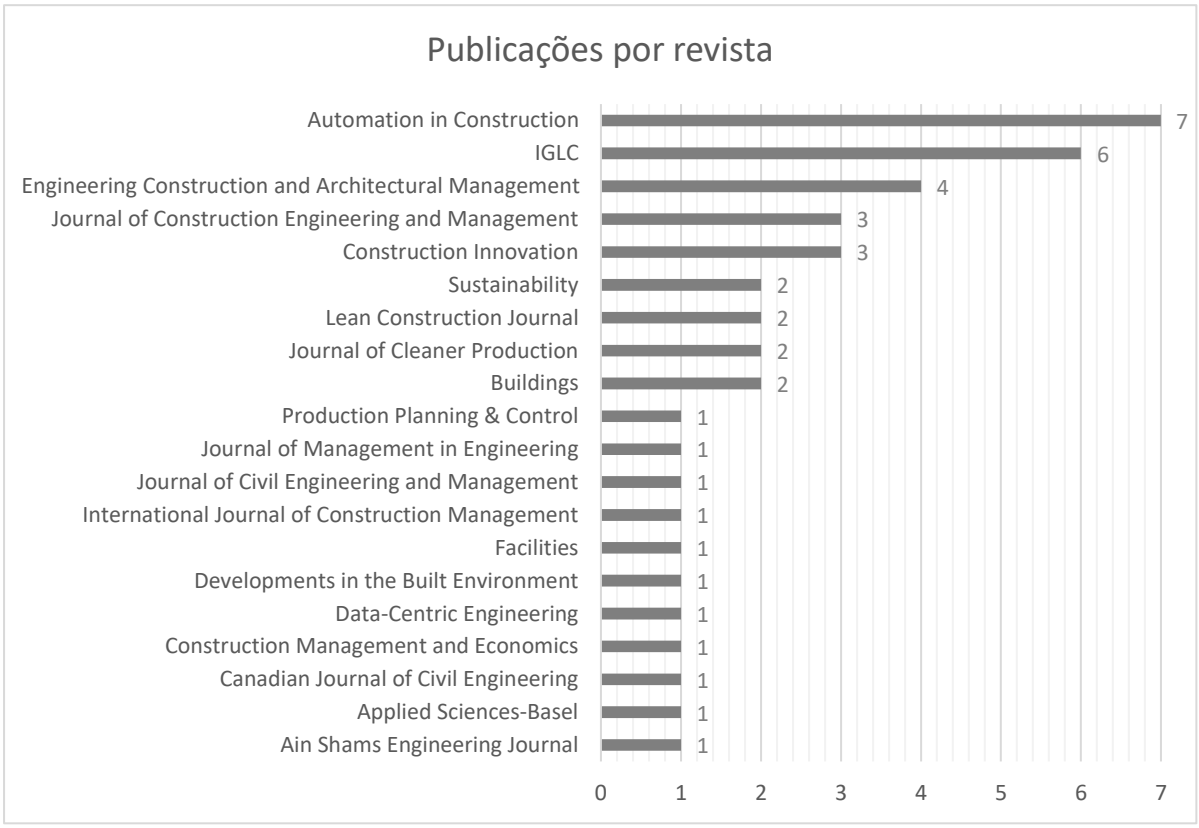
Figura 4.

Figura 3: Número de artigos publicados por ano e suas citações



Fonte: Os autores.

Figura 4: Número de publicações por meio publicador



Fonte: Os autores.

4.2 Análise de Usos de BIM

Após a leitura integral dos 42 documentos selecionados, foram codificados os Usos Gerais de Modelo e os Usos de Domínio do Modelo. Optou-se por não codificar os Usos Específicos de Modelo, pois não há padronização de apresentação dessa informação. O Quadro 4 apresenta a identificação (ID) dos trabalhos e a referência dos mesmos, também apresenta os Usos Gerais de Modelo reconhecidos em cada trabalho. O Quadro 5 apresenta os Usos de Domínio do Modelo reconhecidos em cada trabalho.

Quadro 3: ID e referência dos artigos utilizados para a RSL e Usos Gerais de Modelo de cada artigos

[ID]	Autor	1010	1040	1050	1110	1120	1130	1170	1180	1190	1200	1210	1220	1320	1400	1430	1440	1460	1470	Total*	
[1]	SACKS *et al.* (2020)	Nenhum uso geral encontrado																			
[2]	ARAYICI *et al.* (2011)	x																		1	1,92%
[3]	SACKS *et al.* (2010)	Nenhum uso geral encontrado																			
[4]	BORTOLINI *et al.* (2019)																x			1	1,92%
[5]	SACKS *et al.* (2009)	Nenhum uso geral encontrado																			
[6]	GBADAMOSI *et al.* (2019)		x	x		x														3	5,77%
[7]	ZHANG *et al.* (2015)																x			1	1,92%
[8]	HE *et al.* (2021)	x																		1	1,92%
[9]	DENG *et al.* (2019)	x																		1	1,92%
[10]	HEIGERMOSER *et al.* (2019)	x		x																2	3,84%
[11]	LI *et al.* (2018)	x																		1	1,92%
[12]	ZHANG *et al.* (2018)	x																		1	1,92%
[13]	NATH *et al.* (2015)	x		x																2	3,84%
[14]	AL-SAEED *et al.* (2020)	Nenhum uso geral encontrado																			
[15]	CHEN *et al.* (2020)			x																1	1,92%
[16]	MAHALINGAM *et al.* (2015)	x																	x	2	3,84%
[17]	SACKS *et al.* (2013)	x																		1	1,92%
[18]	JEONG *et al.* (2016)														x					1	1,92%
[19]	BATAGLIN *et al.* (2020)			x																1	1,92%
[20]	TOMMELEIN & GHOLAMI (2012)	Nenhum uso geral encontrado																			
[21]	HAMDI & LEITE (2012)	x					x			x	x			x	x					6	11,54 %
[22]	KOSEOGLU *et al.* (2018)	x		x			x			x	x	x	x	x	x				x	10	19,23%
[23]	SHOU *et al.* (2021)								x											1	1,92%
[24]	GERBER *et al.* (2010)				x											x				2	3,84%
[25]	NASCIMENTO *et al.* (2017)			x											x					2	3,84%
[26]	WANG *et al.* (2016)							x												1	1,92%
[27]	ELDEEP *et al.* (2022)	x																		1	1,92%
[28]	TEZEL & AZIZ (2017)																		x	1	1,92%
[29]	SOMAN *et al.* (2020)	Nenhum uso geral encontrado																			
[30]	MEI *et al.* (2017)												x							1	1,92%
[31]	DAVE *et al.* (2013)											x						x		2	3,84%
[32]	MCARTHUR & BORTOLUZZI (2018)	Nenhum uso geral encontrado																			
[33]	BARKOKEBAS *et al.* (2021)	x																		1	1,92%
[34]	MARZOUK & ELMARAGHY (2021)										x									1	1,92%
[35]	MARZOUK *et al.* (2019)	Nenhum uso geral encontrado																			
[36]	MOLLASALEHI *et al.* (2016)	x																		1	1,92%
[37]	PAL *et al.* (2023)	Nenhum uso geral encontrado																			
[38]	DOUKARI *et al.* (2022)	x																		1	1,92%
[39]	MA *et al.* (2018)	x		x						x	x									4	7,68%
[40]	ANDÚJAR-MONTOYA *et al.* (2020)	x																		1	1,92%
[41]	DANIOTTI *et al.* (2022)	Nenhum uso geral encontrado																			
[42]	SIREN & PENNANEN (2020)	Nenhum uso geral encontrado																			
Total		1	1	8	1	1	2	1	1	3	4	2	2	2	4	1	1	1	3		
		40,5%	2,38%	19%	2,38%	2,38%	4,76%	2,38%	2,38%	7,14%	9,52%	4,76%	4,76%	4,76%	9,52%	2,38%	2,38%	2,38%	7,14%		

***Total percentual referente a 54 usos gerais descritos por Succar (2016).**

Fonte: Os Autores.

Quadro 4: Usos de Domínio de Modelo de cada artigos

[ID]	Autor	2010	2020	2030	2040	2050	2090	3020	3030	3110	4020	4040	4060	4070	4130	4180	5010	5050	5080	6010	7010	7030	8030	8040	8050	Total*	
[1]	SACKS *et al.* (2020)							x																		1	1,32%
[2]	ARAYICI *et al.* (2011)	x	x									x														3	3,95%
[3]	SACKS *et al.* (2010)						x	x																		2	2,63%
[4]	BORTOLINI *et al.* (2019)															x			x							2	2,63%
[5]	SACKS *et al.* (2009)		x					x																		2	2,63%
[6]	GBADAMOSI *et al.* (2019)	x	x																							2	2,63%
[7]	ZHANG *et al.* (2015)																		x							1	1,32%
[8]	HE *et al.* (2021)		x	x	x												x									4	5,26%
[9]	DENG *et al.* (2019)							x		x														x		3	3,95%
[10]	HEIGERMOSER *et al.* (2019)							x							x											2	2,63%
[11]	LI *et al.* (2018)		x					x																		2	2,63%
[12]	ZHANG *et al.* (2018)		x					x			x			x												4	5,26%
[13]	NATH *et al.* (2015)	x																								1	1,32%
[14]	AL-SAEED *et al.* (2020)							x						x												2	2,63%
[15]	CHEN *et al.* (2020)		x					x							x										x	4	5,26%
[16]	MAHALINGAM *et al.* (2015)		x				x																			2	2,63%
[17]	SACKS *et al.* (2013)		x				x	x																		3	3,95%
[18]	JEONG *et al.* (2016)		x					x																		2	2,63%
[19]	BATAGLIN *et al.* (2020)		x					x																		2	2,63%
[20]	TOMMELEIN & GHOLAMI (2012)											x														1	1,32%
[21]	HAMDI & LEITE (2012)		x										x													2	2,63%
[22]	KOSEOGLU *et al.* (2018)	x	x	x				x				x		x					x							7	9,21%
[23]	SHOU *et al.* (2021)							x																		1	1,32%
[24]	GERBER *et al.* (2010)		x					x				x						x	x							5	6,58%
[25]	NASCIMENTO *et al.* (2017)		x																							1	1,32%
[26]	WANG *et al.* (2016)	x	x												x											3	3,95%
[27]	ELDEEP *et al.* (2022)		x																							1	1,32%
[28]	TEZEL & AZIZ (2017)			x		x	x																	x	x	5	5,68%
[29]	SOMAN *et al.* (2020)							x																		1	1,32%
[30]	MEI *et al.* (2017)	x																								1	1,32%
[31]	DAVE *et al.* (2013)		x																							1	1,32%
[32]	MCARTHUR & BORTOLUZZI (2018)																						x			1	1,32%
[33]	BARKOKEBAS *et al.* (2021)												x													1	1,32%
[34]	MARZOUK & ELMARAGHY (2021)												x													1	1,32%
[35]	MARZOUK *et al.* (2019)								x																	1	1,32%
[36]	MOLLASALEHI *et al.* (2016)		x					x				x														3	3,95%
[37]	PAL *et al.* (2023)			x																						1	1,32%
[38]	DOUKARI *et al.* (2022)							x						x	x				x							4	5,26%
[39]	MA *et al.* (2018)		x									x														2	2,63%
[40]	ANDÚJAR-MONTOYA *et al.* (2020)							x				x														2	2,63%
[41]	DANIOTTI *et al.* (2022)																			x	x	x				3	3,95%
[42]	SIREN & PENNANEN (2020)													x												1	1,32%
Total		6	20	4	1	1	4	19	1	1	1	7	3	5	4	1	1	1	5	1	1	1	1	2	2		
		14,29%	47,62%	9,52%	2,38%	2,38%	9,52%	42,24%	2,38%	2,38%	2,38%	16,67%	7,14%	11,9%	9,52%	2,38%	2,38%	2,38%	11,9%	2,38%	2,38%	2,38%	2,38%	4,76%	4,76%		

***Total percentual referente a 76 usos gerais descritos por Succar (2016).**

Fonte: Os Autores.

5 DISCUSSÕES

5.1 Usos Gerais do Modelo

A análise dos artigos estudados que apresentam princípios ou ferramentas *lean* revelou que, dentro da categoria de usos gerais do modelo, a Modelagem de Arquitetura (1010) apresentou a maior aderência, sendo mencionada em 40,5% dos trabalhos analisados. Em seguida, destacam-se a Modelagem de Estruturas de Concreto (1050), com 19%, a Modelagem de Sistemas Hidráulicos (1200) e a Modelagem de Estruturas de Aço (1400), ambos com 9,52%. Esses dados demonstram a predominância do uso do modelo na representação arquitetônica, possivelmente devido à necessidade inicial de representação tridimensional para a concepção e coordenação de projetos, conforme Eastman *et al.* (2014).

Adicionalmente, verificou-se que 23,81% dos artigos analisados abordam a aplicação do BIM em mais de uma disciplina, conforme identificado nos estudos [6], [10], [13], [16], [21], [22], [24], [25], [31] e [39]. Esses artigos evidenciaram um esforço por parte dos pesquisadores de BIM para melhorar a compatibilização entre diferentes sistemas de projeto, demonstrando a capacidade da interoperabilidade através dos modelos. Em especial, quando há um projeto de arquitetura, observa-se uma forte interdisciplinaridade com projetos estruturais, como de estruturas de concreto (9,52%), e de estruturas metálicas (4,76%). Outro destaque é a integração dos projetos arquitetônicos com projetos de sistemas prediais, em especial de sistemas hidráulicos (7,14%), e sistemas de energia (4,76%).

Dando um enfoque nos estudos [21] e [22], eles destacam-se por serem os trabalhos desta amostra que utilizam o maior número dos 52 usos gerais de modelo, compreendendo 11,54% e 19,23% de usos em cada estudo, respectivamente. O artigo [21] aborda a associação da arquitetura com sistemas de combate a incêndio, aquecimento, ventilação e ar-condicionado (do inglês: *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (HVAC)), hidráulica e estruturas metálicas. Já o artigo [22] apresenta uma abordagem ainda mais abrangente, relacionando a arquitetura com estruturas de concreto, sistemas de combate a incêndio, HVAC, hidráulica, sistemas de informações, infraestrutura e estruturas metálicas. Ou seja, observa-se que estes trabalhos reforçam a utilidade do BIM como ferramenta de compatibilização entre arquitetura, estrutura e sistemas prediais.

Por outro lado, o conjunto de artigos [1], [5], [14], [20], [29], [32], [35], [37], [41], [42] não especificou as disciplinas em que as estratégias BIM foram aplicadas, visto que seu foco estava no desenvolvimento de ferramentas de apoio processual como a ferramenta desenvolvido em [1] que utiliza gêmeos digitais para fornecer informações complexas em tempo real para a etapa de construção. Essas ferramentas são aplicáveis em quase todos os usos gerais, afirmando a possibilidade da criação de ferramentas abrangentes e flexíveis, diminuindo a quantidade de ferramentas necessárias para a modelagem em BIM, consequentemente a complexidade do processo de projeto.

5.2 Usos de Domínio do Modelo

Dos usos de domínio identificados, 62,5% estão na fase de projeto, correspondendo a 31,91% dos usos de domínio de modelo listados por Succar (2016) nas séries 2000 a 4000. Na fase de construção, 12,5% dos usos foram encontrados, representando 37,5% dos usos da série 5000. Já na fase de operação e manutenção, outros 12,5% foram identificados, equivalendo a 25% dos usos das séries 6000 e 7000. Por fim, 12,5% dos usos dizem respeito às relações e interfaces do BIM com outras tecnologias, abrangendo 42,86% dos usos de domínio da série 8000 de Succar (2016). Essa predominância sugere que, apesar do potencial do BIM para abranger todo o ciclo de vida da edificação, sua aplicação ainda se restringe, em grande parte, à etapa de concepção. Essa limitação pode estar associada a vários fatores. Primeiramente, a transição de ferramentas tradicionais de *Computer Aided Design* (CAD), ou "projeto e desenho assistidos por computador" em português, para BIM na fase de projeto é mais natural e gradativa, pois muitas empresas já utilizam modelagem tridimensional para representação e documentação. Além disso, a resistência à adoção do BIM em fases posteriores pode estar relacionada a desafios técnicos, falta de capacitação, custos de implementação e dificuldades na interoperabilidade entre diferentes softwares e agentes envolvidos.

Os usos de domínio com maior aderência nos artigos estudados foram: 2020 – Detalhamento tridimensional, 3020 – Planejamento de Construção, 4040 – Detecção de Interferência e 2010 – Documentação 2D. Isso evidencia uma aplicação ainda restrita da metodologia BIM na projeção de edificações. Os usos 2020 e 2010, embora relacionados à representação tridimensional, são limitados e podem ser realizados por ferramentas tradicionais de CAD. O uso 3020, relativo a informações de prazo/tempo vinculadas ao modelo, apresenta uma abrangência significativa dentro das definições de BIM, sendo frequentemente denominado BIM 4D por alguns autores por ter sido o uso que se desenvolveu amplamente antes dos demais. Já o uso 4040, relativo à detecção de sobreposição de disciplinas, destaca-se como uma ferramenta essencial na identificação e resolução antecipada de conflitos no projeto, contribuindo para a mitigação de problemas durante a execução da obra.

Nenhum dos artigos analisados adotou usos de domínio abrangendo todas as fases do ciclo de construção (projeto, construção e operação). Além disso, apenas 19,05% apresentaram a adoção de usos em duas das três fases, sendo 11,91% distribuídos entre projeto e construção, e 7,14% entre projeto e operação. Percebe-se que o uso do BIM está implementado fortemente na fase de projeto e, a partir dela, se desdobrando para as demais, mas não necessariamente em todas. Verifica-se que o uso de BIM não nasce a partir de outra fase, como da construção para operação. Destaca-se que a aplicação ideal de BIM é contemplar todas as etapas do ciclo de vida da edificação. Desse modo, ele é capaz de oferecer maior racionalização dos processos e redução dos desperdícios, princípios da LC.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou a lacuna existente na compreensão e sistematização da relação entre os usos de modelo, relativos à disseminação de BIM na AECO, em projetos e empreendimentos que adotaram LC. O objetivo principal foi identificar e analisar como os usos de modelo, descritos por Succar (2016), se relacionam com a implementação de

princípios Lean, visando contribuir para a integração dessas abordagens na prática profissional. Diante disso, o estudo atingiu seu objetivo ao elencar os usos de modelo mais frequentes na literatura e estruturar uma discussão sobre essa interseção, contribuindo para o avanço da ciência, ao oferecer um panorama de trabalhos acadêmicos que envolvem estudos de caso de projetos e obras reais que adotaram BIM e LC.

Os usos gerais de modelo mais recorrentes nos trabalhos analisados foram relacionados a arquitetura e a estruturas, e, na maior parte das vezes, com as duas disciplinas associadas. Os usos de domínio mais recorrentes foram relacionados à etapa de projeto, sendo detalhamento tridimensional e planejamento de obras os mais frequentes, denotando uma ampla utilização do BIM para projetos de edificação, porém uma limitação em seu uso nas fases de construção, para além do planejamento, e operação. Esses resultados evidenciaram que há uma intersecção significativa na utilização conjunta *lean* e BIM, em especial quando se observa o uso de domínio mais recorrente (3020) e uma das ferramentas *lean* mais disseminadas (LPS). Ademais, destaca-se a recorrência do uso de ambos na etapa de concepção dos projetos, mostrando que a sinergia entre ambos possibilita a otimização dos empreendimentos desde as etapas iniciais. A discussão trouxe as vantagens de usos do BIM para a compatibilização de projetos, e um potencial de criação de ferramentas flexíveis e que atendem a diversas disciplinas, destacando seus usos na interoperabilidade dos projetos.

Observou-se uma lacuna nos usos de BIM e LC em conjunto na integração entre a fase de construção e operação dos empreendimentos. Para pesquisas futuras, sugere-se aprofundamento sobre os usos de modelos na integração entre as fases de construção e operação, identificando os fatores críticos de sucesso de BIM e *lean* essas fases. Ademais, sugere-se o desenvolvimento de frameworks e arcabouços que conectem os usos de modelo e os princípios LC, assim como as ferramentas de ambas abordagens que possibilitem a solução de problemas recorrentes na AECO. Destaca-se o foco em estudos práticos que envolvam casos reais e aprofundamento nos desafios de modelagem e uso de BIM em empreendimentos que aderiram a *lean*.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001

REFERÊNCIAS

ALHAVA, O.; RINNE, V.; LAINE, E.; KOSKELA, L. Can a takt plan ever survive beyond the first contact with the trades on-site? In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Dublin, 2019. **Proceedings […]** Dublin, 2019.

AL-SAEED, Y.; EDWARDS, D. J.; SCAYSBROOK, S. Automating construction manufacturing procedures using BIM digital objects (BDOs): Case study of knowledge transfer partnership project in UK. **Construction Innovation**. 20 (3), 345-377, 2020.

ANDÚJAR-MONTOYA, M. D., GALIANO-GARRIGÓS, A., ECHARRI-IRIBARREN, V., & RIZO-MAESTRE, C. BIM-LEAN as a Methodology to Save Execution Costs in Building Construction—An Experience under the Spanish Framework. **Applied Sciences**. 10(6), 1913, 2020.

ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M.; USHER, C.; O'REILLY, K. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction.** 20, 189–195, 2011.

BALLARD, G. Managing work flow on design projects: a case study. **Engineering, Construction and Architectural Management**. Vol. 9 No. 3, pp. 284-291, 2002.

BARKOKEBAS, B.; KHALIFE, S.; AL-HUSSEIN, M.; FAROOK HAMZEH, F. A BIM-lean framework for digitalisation of premanufacturing phases in offsite construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**. 0969-9988, 2021.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer to order pre fabricated building systems: exploring synergies between Lean and BIM. **Canadian Journal of Civil Engineering**. 47, 2, 165-177, 2019.

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**. 98, 248-264, 2019.

CHAREF, R. The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). **Cleaner Engineering and Technology**, v. 7, 1 abr. 2022.

CHEN, Q.; ADEY, B. T.; HAAS, C.; HAL, D. M. Using look-ahead plans to improve material flow processes on construction projects when using BIM and RFID technologies. **Construction Innovation.** 1471-4175, 2020.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Challenges and Opportunities in Implementing Lean and BIM on a Infrastructure Project. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Fortaleza, 2013. **Proceedings […]** Fortaleza, 2013.

DANIOTTI, B., MASERA, G., BOLOGNESI, C. M., LUPICA SPAGNOLO, S., PAVAN, A., IANNACCONE, G., SIGNORINI, M., CIUFFREDA, S., MIRARCHI, C., LUCKY, M.; CUCUZZA, M. The Development of a BIM-Based Interoperable Toolkit for Efficient Renovation in Buildings: From BIM to Digital Twin. **Buildings**. 12(2), 231, 2022.

DEMIRKESEN, S. BAYHAN, H. G. Critical Success Factors of Lean Implementation in the Construction Industry. **IEEE Transactions On Engineering Management**. 0018-9391, 2019.

DENG, Y.; GAN, V. J. L.; DAS, M.; CHENG, J. C. P.; ANUMBA, C. Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. **Journal of Construction Engineering and Management**. 145, 4, 2019.

DOUKARI, O.; SECK, B.; GREENWOOD, D. The Creation of Construction Schedules in 4D BIM: A Comparison of Conventional and Automated Approaches. **Buildings**. 12(8), 1145, 2022.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ELDEEP, A. M.; FARAG, M. A. M.; EL-HAFEZ, L. M. A. Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study. **Ain Shams Engineering Journal.** 13, 2, 101556, 2022.

GBADAMOSI, A. Q.; MAHAMADU, A. M.; OYEDELE L. O.; AKINADE, O. O.; MANU, P.; MAHDJOUBI, L.; AIGBAVBOA, C. Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly. **Journal of Cleaner Production**. 215, 1180-1190, 2019.

GERBER, D. J.; BECERIK-GERBER, B.; KUNZ, A. Building Information Modeling and Lean Construction: Technology, Methodology and Advances From Practice. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Haifa, 2010. **Proceedings [...]** Haifa, 2010.

GONTIJO, D. S. M.; SANTANA, J. DE C.; PRADO, A. A. DO. Análise dos requisitos para a implementação da filosofia lean green construction em edificações de pequno porte. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído, 17. Foz do Iguaçú, 2018. **Anais [...]** Foz do Iguaçú, 2018.

HAMDI, O.; LEITE, F. BIM and Lean Interactions from the BIM Capability Maturity Model Perspective: A Case Study. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. San Diego, 2012. **Proceedings [...]** San Diego, 2012.

HE. R.; LI. M.; GAN, V. J. L.; MA. J. BIM-enabled computerized design and digital fabrication of industrialized buildings: A case study. **Journal of Cleaner Production**. 278, 123505, 2021.

HEIGERMOSER, D.; SOTO, B. G.; ABBOTT, E. L. S.; CHUA, D. K. H. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**. 104, 246-254, 2019.

JEONG, W.; CHANG, S.; SON, J.; YI, J. S. BIM-Integrated Construction Operation Simulation for Just-In-Time Production Management. **Sustainability**. 8(11), 1106, 2016.

KNOTTENA, V.; LÆDREB, O.; HANSENA, G. K. Building design management – key success factors. **Architectural Engineering and Design Management**, 13(6), 479-493, 2017.

KOSEOGLU, O.; SAKIN, M.; ARAYICI, Y. Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project. **Engineering, Construction and Architectural Management**. 25, 10, 1339-1354, 2018.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**, 1992. Relatório Técnico – Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, Stanford, 1992.

LI, X.; SHEN, G. Q.; WU, P.; FAN, H.; WU, H.; TENG, Y. RBL-PHP: Simulation of Lean Construction and Information Technologies for Prefabrication Housing Production. **Journal of Management in Engineering**. 34, 2, 2018.

MA, X.; CHAN, A. P. C.; WU, H.; XIONG, F.; DONG, N. Achieving leanness with BIM-based integrated data management in a built environment project. **Construction Innovation**. 1471-4175, 2018.

MAHALINGAM, A.; YADAV, A. K.; VARAPRASAD, J. Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption: Evidence from Two Indian Cases. **Journal of Construction Engineering and Management**. 141, 7, 2015.

MARZOUK, M.; ELMARAGHY, A. Design for Deconstruction Using Integrated Lean Principles and BIM Approach. **Sustentability.** 13(14), 7856, 2021.

MARZOUK, M.; ELMARAGHY, A.; VOORDIJK, H. Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition Processes using BIM. **Lean Construction Journal**. 146-163, 2019.

MCARTHUR, J. J.; BORTOLUZZI. B. Lean-Agile FM-BIM: a demonstrated approach. **Facilities**. 0263-2772, 2018.

MEI, T.; WANG, Q.; XIAO, Y.; YANG, M. Rent-seeking behavior of BIM- and IPD-based construction project in China. **Engineering, Construction and Architectural Management**. 0969-9988, 2017.

MHOER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M.; SALDANA, J. **Qualitative Data Analysis**. 4ª ed. SEGE, 2014, 381p.

MOLLASALEHI, S.; FLEMING, A.; TALEBI, A.; UNDERWOOD, J. Development of an Experimental Waste Framework Based on Bim/Lean Concept in Construction Design. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Boston, 2016. **Proceedings [...]** Boston, 2016.

NASCIMENTO, D. L. DE M.; SOTELINO, E. D.; LARA, T. P. S.; CAIADO, R. G. G.; IVSON, P. Constructability in industrial plants construction: a BIM-Lean approach using the Digital Obeya Room framework. **Journal of Civil Engineering and Management**. 23(8), 1100–1108, 2017.

NATH, T.; ATTARZADEH, M.; TIONG, R. L. K.; CHIDAMBARAM, C.; YU, Z. Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. **Automation in Construction**. 54, 54-68, 2015.

PAL, A.; LIN, J. J.; HSIEH, S. H.; GOLPARVAR-FARD, M. Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin. **Developments in the Built Environment**. 16, 100247, 2023.

POPPENDIECK, M.; POPPENDIECK, T. **Lean Software Development: An Agile Toolkit**. 1a ed. Boston: Addison Wesley, 2013.

SACKS, R.; BARAK, R.; BELACIANO, B.; GUREVICH, U.; PIKAS, E. KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing. **Lean Construction Journal**. 19-35, 2013.

SACKS, R.; BRILAKIS, I.; PIKAS, E.; XIE, H. S.; GIROLAMI, M. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, 1: e14, 2020.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. 135, 12

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, B. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in Construction**. 19, 641–655, 2010.

SHEHZAD, H. M. F.; IBRAHIM, R. B.; YUSOF, A. F.; KHAIDZIR, K. A. M.; IQBAL, M.; RAZZAQ, S. The role of interoperability dimensions in building information modelling. **Computers in Industry**, v. 129, 1 ago. 2021.

SHOU, W., WANG, J., WU, P., WANG, X. Lean management framework for improving maintenance operation: development and application in the oil and gas industry. **Production Planning & Control**. 32(7), 585–602, 2020.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L.V. How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. **Annual Review of Psychology**, 70, p. 747-770, 2019.

SIREN, K.; PENNANEN, A. Eletrical Systems Procurment by Means of Target Costing. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Fortaleza, 2013. **Proceedings [...]** Fortaleza, 2013.

SOMAN, R. K.; MOLINA-SOLANA, M.; WHYTE, J. K. Linked-Data based Constraint-Checking (LDCC) to support look-ahead planning in construction. **Automation in Construction.** 120, 103369, 2020.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

SUCCAR, B.; POIRIER, E. Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. **Automation in Construction**, v. 112, 1 abr. 2020.

SUCCAR, B.; SALEEB, N.; SHER, W. Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language. **Cairns: 40th Australasian Universities Building Education Association Conference** (AUBEA 2016), 40. p. 45–57, 2016.

TEZEL, A.; AZIZ, Z. Visual management in highways construction and maintenance in England. **Engineering, Construction and Architectural Management**. 0969-9988, 2017.

TOMMELEIN, I. GHOLAMI, S. Root Causes of Clashes in Building Information Models. In: Annual Conference of the International Group of Lean Construction. San Diego, 2012. **Proceedings [...]** San Diego, 2012.

WANG, J.; SHOU, W.; WANG, X.; WU, P. Developing and evaluating a framework of total constraint management for improving workflow in liquefied natural gas construction. **Construction Management and Economics**. 34(12), 859–874, 2016.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation**. 2o ed. New York: Free Press, 2003

ZHANG, X.; AZHAR, S.; NADEEM, A.; KHALFAN, M. Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams. **International Journal of Construction Management**. 18, 293-300, 2018.

ZHANG, S.; TEIZER. J.; PRADHANANGA, N.; EASTMAN, C. M. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning. **Automation in Construction**. 60, 74-86, 2015.