

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Estudo da implementação do *Lean Construction* com apoio
do BIM**

Lana Maria Aragão Fermiano

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Universidade
Federal de São Carlos como parte dos
requisitos para a conclusão da
graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dra. Cristiane Bueno

São Carlos
2022

Fermiano, Lana Maria Aragão

Estudo da implementação do Lean Construction com apoio do BIM / Lana Maria Aragão Fermiano -- 2022. 82f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos

Orientador (a): Cristiane Bueno

Banca Examinadora: Sheylla Mara Baptista Serra,

Clarissa Biotto

Bibliografia

1. BIM. 2. Lean Construction. 3. Last Planner System. I. Fermiano, Lana Maria Aragão. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Adail e Neusa, que nunca mediram esforços para me apoiar em todas as etapas da minha vida.

Aos meus irmãos, João Thiago e Cassio Miguel, por sempre motivarem a minha melhor versão.

E aos amigos que fiz ao longo da faculdade por toda a amizade, companheirismo e aventuras desfrutadas juntos ao longo desses anos na universidade.

RESUMO

FERMIANO. L. M. A. Estudo da implementação do *Lean Construction* com apoio do BIM. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2022.

A Indústria da Construção Civil é caracterizada como um setor de fluxo de produção complexo. A diversidade das etapas, mesmo em projetos de pequeno porte, produz grande insumo informacional que, a partir do modelo atual para organizar e gerir informações projetuais – baseado em 2D – possui potencial de gerar divergências, omissões, duplicidades ou dúvidas projetuais que refletem em etapas de produção. Além da falta de integração e comunicação da estrutura atual que podem impulsionar atrasos, custos adicionais e erros de produção ao longo do ciclo de vida de um projeto de construção. Logo, o *Lean Construction* e a Modelagem da Informação da Construção (BIM) possuem potencial de sanar alguns dos problemas mais recorrentes da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Dessa forma, o presente trabalho possui como intuito analisar as principais ferramentas *Lean Construction* que contribuem com a condução de processos de construção e podem ser catalisadas através da metodologia BIM. Para tal, realizou-se a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com intuito de coletar os principais conceitos e conclusões já existentes sobre o tema proposto e analisou-se um Estudo de Caso em fase de execução do *Last Planner System* (LPS) e sistemas pré-fabricados, sendo que tais implementações convergem com os princípios *Lean Construction*. A partir da RSL, foi possível concluir que o BIM pode atuar como metodologia catalisadora do *Lean* em função das suas funcionalidades de colaboração, coordenação, comunicação facilitada, visualização 3D e simulação 4D, melhorando a condução de processos e resultado do produto. Nesse contexto, realizou-se uma proposta de implementação BIM com objetivo de catalisar o *Lean Construction* no Estudo de Caso.

Palavras-chave: *BIM, Modelagem de Informação da Construção, Lean Construction, Last Planner System, Pré-fabricados.*

ABSTRACT

FERMIANO. L. M. A. Study of the implementation of Lean Construction with the support of BIM. Monograph (Graduate in Civil Engineering) Federal University of São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2022.

The Civil Construction Industry is characterized as a sector with a complex production flow. The diversity of stages, even in small projects, produces a large informational input that, based on the current model for organizing and managing project information - based on 2D - has the potential to generate divergences, omissions, duplications or project doubts that reflect in production stages. Besides the lack of integration and communication of the current structure that can drive delays, additional costs and production errors throughout the life cycle of a construction project. Therefore, Lean Construction and Building Information Modeling (BIM) have the potential to solve some of the most recurrent problems in the Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) industry. Thus, this paper aims to analyze the main Lean Construction tools that contribute to the conduct of construction processes and can be catalyzed through the BIM methodology. To this end, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted in order to collect the main concepts and conclusions already existent on the proposed theme and a Case Study was analyzed in the execution phase of the Last Planner System (LPS) and prefabricated systems, and such implementations converge with the Lean Construction principles. From the RSL, it was possible to conclude that BIM can act as a Lean catalyst methodology due to its collaboration, coordination, facilitated communication, 3D visualisation and 4D simulation functionalities, improving the processes conduction and the product result. In this context, a BIM implementation proposal was carried out with the objective of catalyzing Lean Construction in the Case Study.

Key-words: BIM, Building Information Modeling, Building Information Modelling, Lean Construction, Last Planner System, Prefabricates.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Procedimento Metodológico.....	10
Figura 2: Abordagens Construção Enxuta	23
Figura 3: Exemplo LOD	26
Figura 4: Curva de MacLeamy	27
Figura 5: Gráfico da relação de quantidade de artigos e ano de publicação	37
Figura 6: Gráfico da relação de quantidade de artigo e metodologia	38
Figura 7: Gráfico da relação de quantidade de artigo e origem	38
Figura 8: Perspectiva do Empreendimento	51
Figura 9: Pavimento tipo da Torre	52
Figura 10: Pavimento tipo da Torre	52
Figura 11: Exemplo de serviço mapeado	56
Figura 12: Planejamento Puxado do Estudo de Caso.....	56
Figura 13: Planejamento Semanal do Estudo de Caso.....	57
Figura 14: Make-ready planning do Estudo de Caso	58
Figura 15: Quadro de Gestão a Vista.....	60
Figura 16: Exemplo de Instrução de Montagem do KIT	63
Figura 17: Esquematização relação BIM-Lean.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Delimitação Geral da Busca.....	12
Quadro 2: Expressão Final Utilizada.....	12
Quadro 3: Relação <i>strings</i> e artigos retornados na base SCOPUS.....	13
Quadro 4: Protocolo da RSL.....	13
Quadro 5: Formulário de Extração RSL.....	14
Quadro 6: Interações Funcionalidades BIM e Princípios Lean.....	31
Quadro 7: Artigos Incluídos	35
Quadro 8: Síntese dos artigos incluídos	49
Quadro 9: Análise Interação <i>Lean</i> -BIM da RSL	49
Quadro 10: Estratégias <i>Lean</i> x Funcionalidades BIM.....	69
Quadro 11: Proposta de Implementação da Metodologia BIM no Estudo de Caso.....	73

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 JUSTIFICATIVA	8
1.2 OBJETIVOS	9
2. METODOLOGIA	10
2.1 1ª ETAPA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.2 2ª ETAPA – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	11
2.3 3ª ETAPA – ESTUDO DE CASO.....	15
2.4 4ª ETAPA – PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO ESTUDO DE CASO.....	15
2.5 5ª ETAPA – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	16
2.6 ESTRUTURA DO TEXTO	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 O CONCEITO LEAN PRODUCTION (PRODUÇÃO ENXUTA)	17
3.2 LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUÇÃO ENXUTA)	18
3.3 O LAST PLANNER SYSTEM® (LPS)	23
3.4 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	25
3.5 SINERGIA RELAÇÃO BIM-LEAN	29
4. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	34
5. ESTUDO DE CASO.....	51
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	51
5.2. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA LEAN	53
5.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS UTILIZADOS.....	54
5.3.1. Planejamento e controle de produção enxuto	54
5.3.2. Pré-fabricados	61
6. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO ESTUDO DE CASO.....	66
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
Referências Bibliográficas	76

1. INTRODUÇÃO

A estrutura atual de projetos, baseada em 2D, possui limitações frente as informações de produto (edificação) e processo ao longo do ciclo de vida das construções, podendo causar omissões de serviços e atividades que são necessárias para a condução de etapas construtivas.

Nesse contexto, a utilização dos princípios *Lean Construction* e o uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM) pode envolver mudanças na indústria da Construção Civil, visto a potencialidade de serem abordadas individualmente ou de forma integrada, visando aumentar a eficiência das construções.

Dito isso, o presente trabalho objetiva investigar o BIM como metodologia catalisadora de princípios *Lean Construction* com intuito de melhorar processos de construção em um estudo de caso que utiliza o *Last Planner System® (LPS)* e a pré-fabricação das instalações prediais. Logo, a partir da fundamentação teórica do tema abordando a sinergia BIM-*Lean* e da identificação das ferramentas LPS utilizadas no estudo de caso, foi possível identificar funcionalidades BIM que podem potencializar o *Lean Construction* e realizar uma proposta de implementação BIM no contexto do Estudo de Caso.

1.1 JUSTIFICATIVA

A concepção de empreendimentos envolve diferentes entregas e profissionais. Portanto, mesmo em construções de pequeno porte, cada profissional, para dar andamento em suas entregas, produzem projetos que serão guias para a produção.

Assim, a estrutura atual para gerir informações, caracterizada pela falta de comunicação e integração, pode causar divergências, duplicidades e falta de informações, impactando etapas de produção.

Nesse contexto, analisar potenciais estruturas metodológicas e ferramentas que apoiem o desenvolvimento de um empreendimento de forma integrada é de suma importância, visto o impacto que tais mudanças podem gerar na construção civil.

Com isso, a Modelagem da Informação da Construção (BIM) e o *Lean Construction* podem sanar alguns dos impasses citados anteriormente.

Ademais, ao utilizar o BIM “apenas” como um programa de modelagem paramétrica poderá ser alcançado ganhos projetuais, visto a possibilidade de compatibilização de projetos. Entretanto, quando alinhado a uma mudança de cultura, a partir do entendimento

da metodologia para mudar processos, os benefícios com redução de custos e ganhos em eficiência poderá ser ainda maior.

A pesquisa é realizada a partir da análise de mudanças processuais, uma vez que há adoção de ferramentas *Lean* no Estudo de Caso selecionado para a condução e controle de processos de construção. Seguido da discussão da potencialidade do BIM para impulsionar o impacto das ferramentas *Lean* já implementadas ou em fase de implementação.

Assim sendo, analisou-se as principais funcionalidades BIM que podem catalisar o *Lean* e, com os resultados levantados, realizou-se uma proposta para o uso da plataforma BIM visando apoiar o *Lean Construction* em etapas de produção.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é discutir como a metodologia BIM pode auxiliar na implementação dos princípios *Lean Construction* e, conseqüentemente, quais são os seus potenciais impactos, benefícios e limitações na indústria da Construção Civil.

A partir do objetivo principal, espera-se:

1. Apresentar fundamentos teóricos sobre a sinergia BIM-*Lean* para processos de construção;
2. Identificar os principais processos *Lean Construction* utilizados em um Estudo de Caso selecionado;
3. Relacionar funcionalidades BIM como uma metodologia catalisadora do *Lean Construction*.

2. METODOLOGIA

Para que um trabalho científico traga efetiva contribuição para o conhecimento, a seleção do método e técnicas adequadas é de suma importância. Dessa forma, este trabalho enquadra-se como aplicado, visto que possui interesse prático. A abordagem da pesquisa foi identificada como qualitativa, uma vez que se utilizou técnicas de interpretação para descrever, decodificar e traduzir o entendimento do tema proposto. Portanto, a pesquisa qualitativa foca no processo do objetivo do estudo, em que, as interpretações individuais são importantes, impactando na compreensão da problemática levantada, sendo possível extrair evidências para sanar as questões propostas na pesquisa (MIGUEL *et al.*, 2012).

Seguindo a abordagem do problema, o presente trabalho prosseguiu-se de acordo com as etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Procedimento Metodológico



Fonte: Autoria própria (2021)

As etapas do procedimento metodológico adotado (Figura 1) estão melhor detalhadas em seguida.

2.1 1ª ETAPA – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A primeira etapa da pesquisa contempla a fundamentação teórica do tema proposto através da revisão bibliográfica. Dessa forma, foi possível contextualizar o cenário atual do problema levantado.

Nessa etapa, realizou-se a contextualização do *Lean Construction* e o BIM, abordando seus principais conceitos, métodos e ferramentas. Dessa forma, o tópico introdutório de Fundamentação Teórica foi construído com apoio de trabalhos já existentes na literatura, visando fundamentar os principais assuntos trabalhados na presente pesquisa.

A busca foi realizada em bases de dados eletrônicas, acessadas preferencialmente pelo Portal de Periódicos CAPES.

2.2 2ª ETAPA – REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A segunda etapa do procedimento metodológico adotado consistiu no levantamento das informações já existentes através da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Assim, foi possível abranger sistematicamente informações já abordadas sobre a integração do BIM e *Lean Construction* em etapas de produção.

Segundo Denyer e Tranfield (2009), as RSL devem registrar todos os passos e etapas realizadas ao longo do processo metodológico. Dessa forma, utilizou-se a estrutura proposta por Morandi e Camargo (2015), aplicada por meio das cinco etapas:

i. Definição do problema de pesquisa

Visto a natureza exploratória do presente trabalho, a questão de pesquisa prosseguiu a partir da hipótese de que existem interações entre princípios *Lean Construction* e BIM para auxiliar etapas de construção. Por consequência, levantou-se a seguinte problemática:

- *Quais são os principais métodos, técnicas e ferramentas existentes integradas aos princípios Lean Construction que contribuem com a condução de processos de construção e podem ter sua implementação facilitada a partir do uso do BIM?*

ii. Estratégia de busca

Para delimitar os estudos analisados, definiu-se *constructos* teóricos de buscas, dessa forma, em seguida, foi possível selecionar as palavras-chaves e expressões de busca que retornem o maior número de artigos coerentes com o tema abordado, tal como expressa o Quadro 1.

Quadro 1: Delimitação Geral da Busca

Constructos	Palavras chave	Expressão de busca	Identificação da expressão
BIM	BIM	("bim" OR "building information model*")	1
	Building Information Modeling		
	Building Information Modelling		
Sistema Lean Construction	Lean Construction	("lean construction" OR "lean")	2
	Lean Construction Process		
	Lean Construction Practies		
	Lean Construction Methods		
	Lean Construction Tools		
	Lean Construction Thinking		

Fonte: Autoria própria (2022)

Optou-se por termos que relacionassem BIM e *Lean Construction* aplicados em processos de construção, para que o trabalho pudesse manter o foco de acordo com os objetivos propostos, selecionou-se a expressão conforme Quadro 2:

Quadro 2: Expressão Final Utilizada

Expressão Final Utilizada
((("lean construction") OR ("lean"))) AND (("BIM") OR ("building information model*"))

Fonte: Autoria própria (2022)

Ressalta-se que foram testados diferentes tipos de expressões teóricas com intuito de obter a expressão final que mais pudesse retornar artigos dentro do tema proposto.

iii. Busca

Prosseguiu-se delimitando a seleção de fontes utilizadas para a buscas dos artigos. De acordo com De-La-Torre-Urgarte-Guanilo, Takanashi e Bertolozzi (2011) nas Revisões Sistemáticas qualitativa é aconselhado utilizar fontes de uma forma mais criteriosa e que sejam relacionadas à temática de estudo. Utilizou-se a base de dados Scopus, como na etapa anterior, atualmente acessada pelo Portal Periódicos CAPES. A Scopus enquadra-se como sendo uma das maiores bases de dados multidisciplinares (MORANDI e CAMARGO, 2015), em que o acesso é gratuito via Comunidades Acadêmica Federada (CAFE) acessado via credenciais da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

No Quadro 3 explicita-se a quantidade de artigos retornados com a expressão utilizada:

Quadro 3: Relação Strings e artigos retornados na base SCOPUS

Expressão Utilizada	Artigos retornados
((("lean construction") OR ("lean")) AND (("BIM") OR ("building information model*")))	444

Fonte: Autoria própria (2022)

iv. Síntese dos Resultados

Com o auxílio do software *State of the Art through Systematic Review* (Start), elaborou-se o protocolo de revisão de pesquisa (Quadro 4), documento responsável pelo direcionamento e condução da RSL.

Quadro 4: Protocolo da RSL

Protocolo - Revisão Sistemática da Literatura	
Título	Estudo da implementação do <i>Lean Construction</i> com apoio do BIM
Pesquisadora	Lana Maria Aragão Fermiano
Objetivos	Discutir como a metodologia BIM pode auxiliar na implementação dos princípios <i>Lean Construction</i> e, conseqüentemente, quais são os seus potenciais impactos, benefícios e limitações na indústria da Construção Civil.
Questões de Pesquisa	Quais são os principais métodos, técnicas e ferramentas existentes integradas aos princípios <i>Lean Construction</i> que contribuem com a condução de processos de construção e podem ter sua implementação facilitada a partir do uso do BIM.
População	Estudos encontrados na base de dados Scopus e disponibilizados gratuitamente via CAFE.
Intervenção	Trabalhos que abordem a sinergia do <i>Lean Construction</i> e BIM para promover melhorias na produção.
Resultados	Analisar estudos que abordem o BIM visando implementar princípios <i>Lean Construction</i> e quais foram os principais impactos, benefícios e limitações para a condução de processos de construção.
Palavras-chaves	BIM, <i>Building Information Modeling</i> , <i>Building Information Modelling</i> , <i>Lean Construction</i> .
Idiomas	Português/Inglês
Crítérios de Inclusão	(a) Serão incluídos trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científica; (b) Serão incluídos trabalhos publicados a partir de 2010; (c) Serão incluídos trabalhos que abordem exclusivamente com as áreas da Engenharia Civil, Arquitetura ou Construção Civil; (d) Serão incluídos trabalhos que abordarem a metodologia BIM apoiada aos princípios <i>Lean Construction</i> na etapa de construção.
Crítérios de Exclusão	(a) Serão excluídos trabalhos publicados antes de 2010; (b) Serão excluídos trabalhos que não estejam relacionados às áreas de Engenharia Civil, Arquitetura ou Construção Civil; (c) Serão excluídos trabalhos que abordem o <i>Lean Construction</i> e o BIM aplicados em outras áreas que não sejam ou impactam as etapas

	<i>construtivas de uma edificação.</i>
Critério de Qualidade	<i>Os estudos selecionados inicialmente devem ter sido publicados em periódico científico ou em anais de eventos.</i>
Avaliação quantitativa	Realizada através do uso das palavras-chaves encontradas no título, resumo, palavras-chaves dos documentos.
Avaliação qualitativa	Realizada a partir dos objetivos e questões de pesquisa.
Formulário de extração	Código de identificação, título, autores, origem dos autores, referência, ano de publicação, localização da pesquisa, periódico, descrição do objetivo, palavras-chave, idioma, metodologia utilizada, análise qualitativa sobre as questões levantadas, limitações e sugestões para trabalhos futuros.
Síntese	Apresentada com gráficos, quadros e tabelas.

Fonte: Autoria própria (2022)

Além disso, utilizou-se o critério de disponibilidade do estudo, visto que para a presente RSL foi utilizado artigos que pudessem ser acessados gratuitamente através do Portal Periódicos CAPES pelo acesso via credenciais da UFSCar.

Ademais, com o auxílio do software *Start* utilizou-se ferramentas para determinar prioridade de leitura, além de arquivar e documentar todos os artigos incluídos e excluídos.

v. Apresentação dos Resultados

Por fim, após completa leitura dos artigos incluídos, visando sintetizar os resultados, extraiu-se as principais informações dos estudos seguindo o Formulário de Extração de Artigos Incluídos de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5: Formulário de Extração RSL

Formulário de extração artigos incluídos RSL	
Código de identificação	
Título	
Autores	
Origem dos autores	
Referência	
Ano de publicação	
Localização da pesquisa	
Periódico	
Descrição do objetivo	
Palavras-chave	
Idioma	Inglês
	Português
Metodologia utilizada	Estudo de caso
	Pesquisa-ação
	Teórico/conceitual
	Experimento ou Quase-experimento

		Survey
		Não mencionado
Limitações		
Sugestões		

Fonte: Autoria própria (2022)

Os resultados encontrados foram sintetizados em duas etapas. Inicialmente, realizou-se a análise bibliométrica dos documentos extraídos, sendo possível obter uma visão geral dos artigos incluídos. Enquanto que, na segunda etapa, extraiu-se os dados dos artigos que pudessem sanar as questões levantadas na pesquisa, utilizando como recurso tabelas comparativas.

2.3 3ª ETAPA – ESTUDO DE CASO

Em seguida, selecionou-se um Estudo de Caso em fase de implementação do *Lean Construction* na etapa de construção de uma obra. O Estudo de Caso em questão, trata-se de uma construtora e incorporadora com sede situada na cidade de Campinas – SP.

A construtora em questão, iniciou a implementação do *Lean Construction* em um de seus empreendimentos com intuito de reduzir custos e tempo de entrega da obra, formar multiplicadores *Lean* na empresa, utilizar ferramentas do LPS para controle de produção e montagem de elementos pré-fabricados visando padronizar as etapas de instalações prediais do empreendimento.

Em síntese, a condução do Estudo de Caso foi dividida em três tópicos:

- i. Caracterização do Estudo de Caso;
- ii. Implementação do *sistema Lean*;
- iii. Descrição dos sistemas utilizados.

Na primeira etapa, realizou-se uma breve descrição e caracterização da empresa e empreendimento estudados no trabalho. Na segunda etapa, descreveu-se como as etapas de implementação *Lean* se desenvolveram na empresa estudada. Enquanto que a terceira etapa aborda as ferramentas *Lean* em processo de implementação na empresa construtora.

2.4 4ª ETAPA – PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO ESTUDO DE CASO

Em seguida, com base nas relações sinérgicas BIM-*Lean* extraídas na RSL e da identificação das ferramentas *Lean* utilizadas pelo estudo de caso, foram propostas

aplicações de funcionalidades BIM visando auxiliar a implementação do *Lean Construction* no empreendimento.

Ressalta-se que tal estrutura de análise pode ser aplicada para pesquisas exploratórias, uma vez que é objetivado analisar a conformidade de dois processos em um contexto específico, principalmente, quando um dos processos são princípios, enquanto o outro proporciona funcionalidades práticas para aplicar tais princípios (SACKS *et al.*, 2010).

2.5 5ª ETAPA – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, levantou-se as conclusões finais do presente trabalho. Para tal, foram abordados os benefícios e potenciais encontrados, bem como as limitações, lacunas e quais são as futuras pesquisas que podem dar continuidade ou contribuir com a presente pesquisa.

2.6. ESTRUTURA DO TEXTO

O presente trabalho se desenvolveu através de 6 capítulos. O Capítulo 1 contempla uma breve introdução do tema, discutindo a relevância da problemática, justificativa e os objetivos do tema estudado. O Capítulo 2 aborda a Metodologia do trabalho. Já o Capítulo 3 inclui a Fundamentação Teórica do texto para introduzir conceitos e informações que já foram trabalhadas na literatura sobre as metodologias que serão discutidas ao longo do trabalho. O Capítulo 4 conta com a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) abordando as principais conclusões que integram o BIM e o *Lean Construction*. O Capítulo 5 descreve o Estudo de Caso selecionado e as ferramentas que estão em processo de implementação no empreendimento. No capítulo 6 é realizado a proposta de implementação do BIM para catalisar o *Lean Construction* no estudo de caso a partir das conclusões da RSL. Por fim, as considerações finais são desenvolvidas no Capítulo 7.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A construção civil possui grande participação ativa na economia do Brasil, sendo responsável por aproximadamente 15% do PIB brasileiro (NAGALLI, 2014), caracterizado como um dos setores mais importantes para geração de empregos e renda para a população (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Contudo, apesar da sua grande colaboração para o desenvolvimento econômico e social, a construção civil é caracterizada por ser um setor artesanal, com processos ineficientes e desperdícios (DAROS, 2017), em que, de acordo com Horman; Kenley (2005) em média 49,6% do tempo de construção é utilizado em atividades que não agregam valor ao resultado final do projeto.

Segundo Clemente (2012), uma das principais causas para o baixo desempenho da construção civil é a dificuldade em visualizar o fluxo da produção e transmissão eficiente de informação dos envolvidos em um projeto. Assim, observa-se que a construção civil necessita de um projeto integrado orientado para uma metodologia a qual prevaleça o planejamento e a organização.

Além disso, a etapa de *Design*, que pode ser descrita como uma troca de conhecimentos e informações, necessita conhecimento especializado e participação de diferentes colaboradores em vastas áreas organizacionais. Dessa forma, tais características podem tornar o processo complexo principalmente no que diz respeito ao seu gerenciamento (GRAY; HUGHES, 2001).

Diante dos números expressivos, profissionais da Arquitetura, Engenharia e Construção e Operação (AECO) são cada vez mais cobrados para promover práticas mais eficientes, visto que processos adequados de um projeto com gestão realizada com auxílio de ferramentas tecnológicas informacionais é um ponto central para a qualidade dos processos e resultado do projeto de construção (MOUM, 2010).

3.1 O CONCEITO *LEAN PRODUCTION* (PRODUÇÃO ENXUTA)

A partir da década de 50, originou-se no Japão, o sistema Toyota de produção com objetivo de eliminar estoques e desperdícios desnecessários, ao mesmo tempo que abrange a qualidade da indústria automobilística japonesa. Com isso, o conceito de qualidade foi levado à um patamar mais amplo, abordando não apenas a garantia de qualidade em si, mas também com relação a outras ferramentas de desenvolvimento de empresas (KOSKELA, 1992). Dito isso, por volta dos anos 90 o Sistema Toyota de Produção (STP) foi denominado como *Lean Production* (LP), uma vez que tal sistema utiliza menos esforço

humano, estoques, ferramentas e infraestrutura fabril ao se comparar com o sistema de produção em massa (WOMACK *et al.*, 1990).

Seguindo tal abordagem, o *Lean Thinking* designação criada pelos autores Womack e Jones (1996) aborda o LP seguindo uma filosofia de pensamento, em que, possui como fundamentação base os princípios de Valor, Cadeia de Valor, Fluxo, Sistema Puxado e Perfeição (Melhoria Contínua).

O Desperdício (conceito ligado aos princípios de Valor) pode ser caracterizado como a realização de diversos fatores e complexidades que aumentam o custo do produto ou serviço sem aumentar valor agregado final. Sendo assim, tudo que consome recursos materiais, mão de obra ou energia sem aumentar o valor agregado são desperdícios. Logo, dentro de uma empresa ou processo, apenas atividades selecionadas tornam o produto final valioso, enquanto outras atividades não acrescentam valor ao produto (WOMACK; JONES, 1996).

Ainda, o desperdício pode ser categorizado como atividades ou situações desnecessárias para um determinado trabalho e que precisam ser identificados e eliminadas o mais rápido possível. Ou desperdício ainda necessário, caracterizado como desperdícios inevitáveis, uma vez que são realizados por conta do método atual de trabalho, e, para serem eliminados, torna-se necessário rever os métodos de trabalho (OLIVEIRA, 2018).

A produção baseada no conceito enxuto possui foco na redução de desperdícios através da identificação e eliminação de atividades que não agregam valor. Enquanto que o sistema de produção tradicional objetiva aumentar e aperfeiçoar atividades que agregam valor (HINES; TAYLOR, 2000).

Dessa forma, sistemas enxutos utilizam a metodologia do Pensamento Enxuto (*Lean Thinking*) ao abordar práticas e ferramentas que atuam através da melhoria contínua, agregação de valor, redução de desperdícios e produção puxada em toda a cadeia de valor de um determinado produto.

3.2 LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUÇÃO ENXUTA)

A indústria automobilística (indústria que originou o *Lean*) e a indústria da construção civil possuem realidades diferentes. Enquanto na primeira há uma padronização no mínimo mensal de produtos, tempo hábil para que os prestadores possam se concentrar em atender apenas uma especificação de produto, a construção civil é caracterizada por possuir processos peculiares, visto que uma obra é um produto único. Em que, os subprodutos de uma determinada construção devem obedecer a especificações e dimensionamentos projetuais. Além de estarem expostos a instabilidades de ambientes externos, solo,

variabilidade de materiais e demais recursos naturais envolvidos, tornando o produto final mais exposto a incertezas frente ao que foi projetado (OLIVEIRA, 2018).

Assim, para que tais particularidades sejam contempladas pelos conceitos introduzidos pelo *Lean Production*, foi adaptado para o âmbito da engenharia civil pelo finlandês Lauri Koskela o *Lean Construction* a partir do trabalho *Application of the New Production Philosophy to Construction* publicado através do CIFE– *Center for Integrated Facility Engineering* da Universidade de Stanford, EUA.

A construção civil enquadra-se como um setor com fluxo complexo e diversificado, possuindo combinações e etapas diversas para a execução de um empreendimento. O *Lean Construction* possui como foco, principalmente, a redução de desperdícios, aumento do valor para o cliente e melhoria contínua (SACKS *et. al*, 2009). A partir da utilização dos princípios norteadores do *Lean Construction* para otimização das atividades da empresa, há grandes mudanças na gestão da construção civil, melhorando o controle da construção e projetos, e, conseqüente eliminação de desperdícios por tempo e material (DARABSEH, 2019).

De acordo com Koskela (1992), existem dois tipos de atividades em todos os sistemas de produção:

- As atividades de conversão
- As atividades de fluxo

Enquanto as atividades de conversão são responsáveis por transformar materiais ou informações, agregando valor e devem ser realizadas com uma maior eficiência, as atividades de fluxo são atividades de movimentação, espera ou inspeção, caracterizadas como desperdícios e devem ser minimizadas ao máximo, buscando até mesmo a sua eliminação por completo. Koskela (1992) introduz também princípios para aplicação efetiva do *Lean Construction* para estruturar processos e melhorias. Os onze princípios propostos por Koskela são:

1. Reduzir atividades que não agregam valor, princípio ligado, principalmente, a melhorias na eficiência de atividades de conversão e fluxo;
2. Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente;
3. Reduzir a variabilidade a partir da redução de incertezas e aumento da previsibilidade;
4. Reduzir tempo de ciclo, em que, a detecção de um problema deve ser ágil;
5. Simplificação, fundamentada a partir da redução do número de etapas, visto que a complexidade de um produto ou processo pode aumentar custos;
6. Aumentar a flexibilidade da produção, princípio que preserva por buscar meios para melhorar a qualidade do produto e a agilidade dos processos para a execução;

7. Aumentar a transparência do processo, obtido através da clareza nas etapas produtivas;
8. Focar o controle no processo global, isto é, focar no resultado como um todo e não só com um nível específico;
9. Introdução da melhoria contínua, que pode ser adquirida por estabelecimento de metas;
10. Equilíbrio entre melhorias nos fluxos e conversões, quanto mais complexo a produção maior é o impacto do fluxo da melhoria, e, quanto mais se desperdiça no processo de produção, mais se obtém lucro do fluxo de melhoria em comparação à melhoria de conversão. Em suma: melhoria do fluxo e a melhoria da conversão estão interligados; e
11. Benchmarking, isto é análise comparativa entre empresas concorrentes, a fim de melhorar realizações internas de etapas semelhantes.

Nesse contexto, o *Lean Construction* tem recebido uma maior atenção da indústria da construção civil, apesar de ainda não estar amplamente difundido no setor (DARABSEH, 2019).

Um estudo de caso conduzido por Fragoso; Almeida (2017) analisou comparativamente duas obras da cidade de Maceió, Alagoas. Uma das obras utilizava gestão tradicional, enquanto a outra baseava-se na gestão a partir dos princípios *Lean Construction*, considerando o andamento de cada obra, o estudo objetivou analisar a otimização dos processos a partir do *Lean Construction*, consequências com relação aos resíduos sólidos e índices de perdas de materiais. Por fim, observou-se que a obra baseada nas diretrizes do *Lean Construction* obteve uma redução de 34% de geração de resíduos em contrapartida com a gestão tradicional.

Além do impacto com desperdícios materiais, o *Lean* aborda desperdícios por superprodução, estoques, esperas, transporte, movimentação defeitos e processamento inapropriado (OHNO, 1997), Koskela (2004) ainda ressalta um oitavo desperdício na construção civil, o *making-do*. De acordo com o autor, o *making-do* é um desperdício frequente no setor da construção, em que, se refere a serviços que iniciam antes dos recursos necessários, tal como projetos, especificações, materiais, operadores, equipamentos, espaço e atividades predecessoras e dependentes finalizadas.

Segundo Koskela (2004), há uma razão estrutural para a persistência de tal desperdício, podendo ser justificada em função da síndrome da eficiência para otimizar todos os processos, fatores comportamentais decorrentes de respostas rápidas, dentre outros fatores que motivam a recorrência de tal desperdício.

Ainda, Ballard *et al.* (2007) citam que benefícios do *Lean Construction* são obtidos a partir de técnicas, métodos e ferramentas *Lean*. Sendo que desde o início das operações da

Toyota, os líderes da empresa japonesa entenderam que o sucesso por trás das operações seria alcançado através do investimento em pessoas. Logo, a relação com os colaboradores da empresa foi um importante foco para a estruturação do pensamento a longo prazo (LINKER; HOSEUS, 2008). Dessa forma, além do foco nas pessoas, a trajetória da montadora japonesa expôs métodos e práticas que originaram diversas abordagens.

Segundo Oliveira, 2018 as cinco principais abordagens (Figura 2) que garantem a implantação dos conceitos *Lean Construction* visando resultados práticos em obras prediais e de infraestrutura são:

- **Análise do Escopo**

A Análise do Escopo aborda o entendimento da obra como o todo e as necessidades do usuário final. Sendo que, a partir de tal análise, é possível orientar decisões para aumentar o valor do produto para clientes internos e externos, visto que tais informações devem ser absorvidas no projeto do produto e gestão da produção ao longo das etapas executivas (FORMOSO, 2005)

- **Planejamento Puxado (*Pull Planning*)**

A Produção Puxada, realizada a partir do Planejamento Puxado, “nasce” a partir de uma demanda real, dispensando a necessidade de previsões. Habitualmente, construtoras utilizam planilhas com cronogramas ou sistemas para realizar a programação de diferentes serviços, que são realizadas sem a participação de quem irá conduzir as atividades. Por consequência disso, áreas como a de Recursos Humanos ou de Compras podem ter problemas em etapas de aquisição de materiais ou contratação de mão de obra (OLIVEIRA, 2018).

O Planejamento Puxado é uma das ferramentas que auxiliam a aplicação LPS. Segundo Ballard (2000), o planejamento e controle da construção civil deve ser realizado por diferentes pessoas de diferentes posições hierárquicas na empresa ao longo do projeto, com intuito de “cobrir” e “proteger” ao máximo as atividades e serviços que serão executadas, por fim “o último planejador” define as tarefas que comandam a produção física.

Desse modo, com foco no fluxo de produção e permitindo com que as atividades mapeadas só se iniciem quando as restrições foram removidas, o LPS transforma o trabalho em pacotes e as planeja como tal. Com isso, a partir do controle, a produção é certificada (BALLARD, 2000).

Com isso, o Planejamento Puxado utiliza a técnica de programar cada fase da produção do fim para o começo, a partir da data macro de uma determinada atividade e contando com a participação dos envolvidos com intuito de garantir a programação real das equipes. Para a aplicação dessa técnica, é utilizado ferramentas de gestão visual com notas

adesivas contendo todas as informações necessárias para a execução das atividades mapeadas. Dessa forma, são listadas todas as restrições encontradas com os seus respectivos planos de ações, responsáveis e data limite de resolução visando não impactar o andamento das atividades. Além disso, etapas em que não é possível estabelecer o fluxo contínuo, deve ser utilizado a produção puxada (ALMEIDA, 2006).

- **Princípio do *Takt Time***

A palavra “*takt*” possui origem germânica e é empregada para expressar o ritmo de produção necessária para atender uma determinada demanda. Desse modo, Princípio do *Takt* visa alcançar a harmonia ao longo da execução de atividades, produzindo no ritmo necessário de acordo com uma determinada demanda (OLIVEIRA, 2018).

Dessa forma, para Schramm (2004), a estrutura do sistema de produção é realizada a partir da definição e sincronização do ritmo de produção e ritmo de vendas que é delimitado a partir da definição do tempo *takt*.

Partindo do conceito que ritmo são ciclos repetitivos, entender que a aplicação do *takt time* deve ser feita apenas em elementos repetitivos deve ter uma ressalva. Em construções, por exemplo, é possível separar a construção em elementos que apresentam repetições, logo, apesar da construção em si não ser repetitiva, há partes que podem ser repetitivas (OLIVEIRA, 2018).

Assim, de acordo com Oliveira (2018), o princípio do *takt* é utilizado em várias etapas de um empreendimento, atualizando o planejamento com a programação ritmada calculada para cada caso.

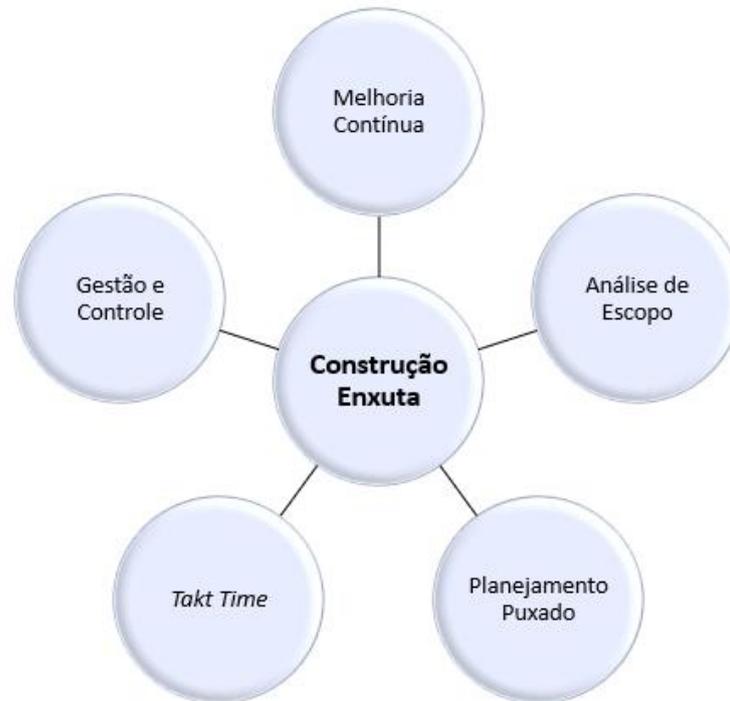
- **Gestão e Controle**

Visando garantir o andamento das aplicações de uma determinada obra, a gestão utiliza modelos administrativos de recursos para cumprir metas, enquanto o controle se refere a mecanismos de rotinas e análises comparativas entre o planejado e o realizado. Para tal, é indispensável o uso de indicadores, rotinas de reuniões, quadros de gestão visual para controle de produção e metodologias de resolução de problemas (OLIVEIRA, 2013).

- **Melhoria Contínua**

Os princípios da Construção Enxuta, de acordo com Koskela (1992) devem ser constantemente identificados com intuito de eliminar desperdícios e melhorar processos. Logo, a utilização de ferramentas que auxiliem a identificação de pontos de melhoria e o funcionamento do fluxo produtivo é de suma importância para a Melhoria Contínua.

Figura 2: Abordagens Construção Enxuta



Fonte: Oliveira, 2018.

3.3 O LAST PLANNER SYSTEM® (LPS)

No modelo tradicional, o controle de projetos controla os recursos e o tempo gasto em determinadas etapas. Dessa forma, os recursos são monitorados através do inspecionamento dos custos visando a produtividade, ou seja, o seu uso eficiente. Enquanto que o controle do tempo envolve o planejamento, ferramenta que define a sequência de execução; o cronograma, responsável por determinar as durações das atividades, e o monitoramento, que visa acompanhar a condução das tarefas (BALLARD, 2000).

Nesse contexto, o *Last Planner System®* (LPS) ou Sistema do Último Planejador de controle de produção, desenvolvido para a construção civil no *Lean Construction Institute* (LCI) pelos engenheiros Glenn Ballard e Gregory Howell (BALLARD, 2000) e fundamentado pelos princípios *Lean Construction*, aborda o planejamento e controle de produção com intuito de garantir, através de ferramentas e procedimentos, que todos os pré-requisitos de uma determinada tarefa sejam cumpridos antes da etapa de execução (PENEIROL, 2007).

Dito isso, o LPS introduz o “Sistema Puxado” no contexto da construção civil. No Sistema Puxado, a produção ocorre a partir da demanda real e não através de previsões

(BALLARD, 2000), tal como no “Sistema Empurrado”, sistema predominantemente utilizado nas construções (KEMPENICH, 2009).

No “Sistema Empurrado”, com base nos objetivos e nas informações disponíveis, define-se a execução. Com esse sistema, cabe ao responsável pela execução demandar os recursos necessários para a realização da tarefa e cumprimento do prazo. Logo, tudo o que estiver planejado, será executado; sendo este um raciocínio que costuma falhar.

Em suma, o *Last Planner* pode ser resumido em três níveis hierárquicos de planejamento: longo, médio e curto prazo. Assim, o método para a implementação do LPS ocorre através de cinco elementos: *master scheduling*; *phase schedule (pull planning)*; *lookahead process*; *weekly work plans* (planejamento semanal) e Porcentagem de Planos Concluídos (PPC) (BALLARD, 2000).

Na programação a longo prazo, utiliza-se o *master scheduling*, sendo este um nível de planejamento que inicia a partir do estabelecimento de duas datas marcos com as suas principais atividades e durações. A partir de tais datas, realiza-se a seleção, dimensionamento e sequência lógica dos serviços necessários para atingir as etapas marcos estabelecidas. Portanto, na programação a longo prazo as atividades são “empurradas”, e a partir do processo seguinte “*lookahead*”, a produção passa a ser puxada, uma vez que é selecionado atividades com potencial de serem executadas em um tempo de três a doze semanas, abordando as restrições que devem ser resolvidas para a execução dos serviços. Dessa forma, utiliza-se a abordagem *Make-Ready* no *lookahead planning* com intuito de visualizar e identificar restrições, aumentando a confiabilidade da execução das tarefas (BALLARD, 2000).

No nível de planejamento a médio prazo, o *Pull Planning* é conduzido objetivando abordar um período maior que o estipulado no *lookahead*, além de atender as restrições das tarefas predecessoras evitando conflitos operacionais em função da falta de qualquer recurso (BALLARD, 2000).

O nível do Planejamento Semanal puxa as atividades mapeadas em “podem ser feitas” para “vão ser feitas”, pois, quando pacotes de atividades passam para a programação semanal, significa que todas as restrições já foram resolvidas ou serão resolvidas no tempo estipulado. Em seguida, o indicador PPC auxilia na visualização do desempenho e eficiência das equipes envolvidas nas atividades, visto que o PPC é a razão entre as atividades executadas e planejadas, é possível analisar quais as principais atividades que não foram executadas e analisar a causa para tal impasse (BALLARD, 2000).

Além disso, o LPS estabelece a necessidade de reuniões diárias para realizar discussões sobre o andamento da programação semanal planejada e levantar necessidades objetivando conduzir a produção de forma satisfatória (DAVIDSON, 2015).

3.4 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A indústria da construção civil, atualmente e predominantemente, utiliza processos fragmentados, com comunicação baseada em projeto 2D, método com maior exposição a possíveis erros (EASTMAN *et al.*, 2011).

Dessa forma, o *Building Information Modelling (BIM)* descreve uma nova abordagem para o projeto, construção e gestão, envolvendo amplas mudanças nos processos e etapas construtivas, em que, modelos BIM são caracterizados por componentes representativos que sabem sua função dentro do projeto, sendo possível a atribuição gráfica de dados computáveis e regras paramétricas ao envolver o processo como um todo (EASTMAN *et al.*, 2011).

Atualmente, as funcionalidades BIM desenvolveram-se a partir da capacidade de modelagem paramétrica, sendo uma das suas principais características a representação de parâmetros que determinam uma geometria. Além de ser uma plataforma que facilita o trabalho colaborativo e integrado para criação, desenvolvimento e acompanhamento de um empreendimento objetivando a redução de erros no projeto e melhora na confiabilidade das informações presente no projeto. Por consequência disso, com tais informações, os objetos de um determinado modelo podem atualizar automaticamente de acordo com o usuário ou o contexto do projeto. Então, a partir de uma hierarquia de parâmetros as formas e outras propriedades são passíveis de serem controladas e definidas (EASTMAN *et. al*, 2011).

Com isso, o nível informacional agregado na geometria de um elemento no modelo indica o grau de confiabilidade que as equipes podem ter na modelagem (NBIMS, 2015). Logo, o Nível de Desenvolvimento do Modelo ou *Level of Development (LOD)* possibilita aos envolvidos de um determinado projeto especificar e gerir informações de acordo com o objetivo do modelo BIM (BEDRICK; REINHARDT; 2013). Assim, o sistema classificatório dos níveis de desenvolvimento informacional auxilia no alinhamento de expectativas quanto ao potencial de modelos BIM e a definição de padrões para determinadas finalidades. Nesse sentido, segundo AIA (2013) p. 11, os Níveis de Desenvolvimento são:

LOD 100: contempla objetos de representação gráfica de maneira genérica ou simbólica;

LOD 200: agrega informações de quantidades, forma, localização e orientação aproximadas;

LOD 300: elementos são representados de forma específica quanto a sua quantidade, forma, localização e orientação;

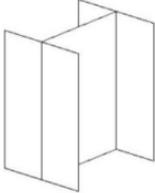
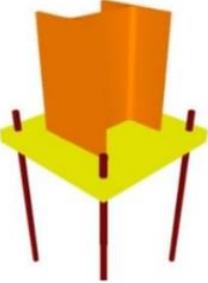
LOD 350: contempla interfases com outros sistemas;

LOD 400: contém informações mais detalhadas para processos de fabricação e montagem;

LOD 500: modelo *as built* constituído a partir das características reais do projeto de construção, representado a obra construída em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação.

A Figura 3 representa um exemplo aplicado do LOD elaborado pelo BIMForum (2020).

Figura 3: Exemplo LOD

LOD100	LOD200	LOD300	LOD350	LOD400
				
Representação de coluna genérica	Perfil genérico	Perfil de aço com definição de material	Definição de níveis associados ao objeto do sistema de apoio e identificação	Informações executivas do elemento

Fonte: BIMForum, 2020.

Nesse sentido, tal classificação auxilia na determinação das características necessárias do modelo. Portanto, conforme o nível de desenvolvimento necessário, o LOD pode evoluir na modelagem em BIM. Além disso, tal definição evita esforços dispensáveis, sendo possível focar nas especificações que realmente serão importantes para o objetivo definido do modelo (HARDIN; MCCOOL, 2015).

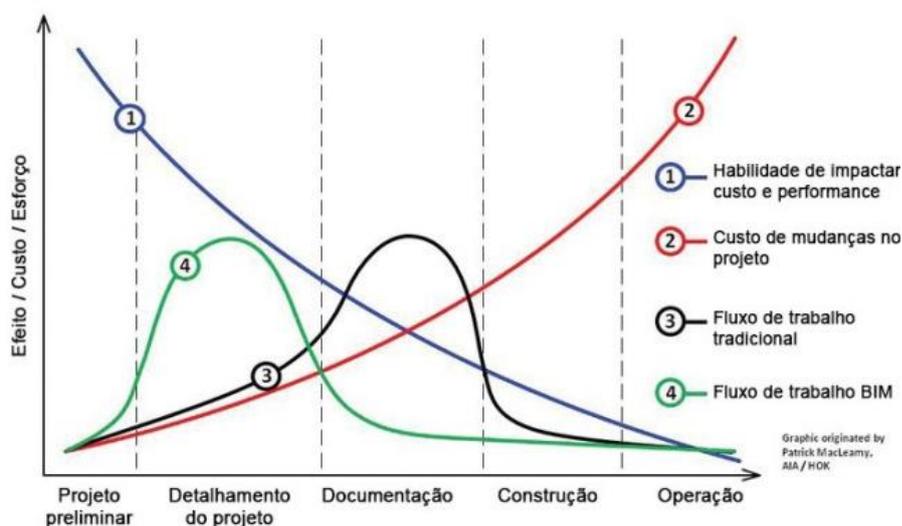
Dito isso, a metodologia BIM suporta a possibilidade de inserção e extração de informações a fim de analisar e determinar a solução mais eficiente e adequada para um determinado projeto (JOHN WILEY; SONS, 2011). Inclusive, sendo possível otimizar a gestão visual baseada na sensibilização frente as atividades de produção, além da possibilidade de detectar quais são as maiores interrupções do fluxo de trabalho, permitindo melhoras no planejamento e aumento da produtividade (REINBOLD *et. al*, 2019).

Assim, o BIM emprega mudanças no processo tradicional da indústria AECO caracterizada pela fragmentação da entrega e dependência em desenhos com representações 2D (EASTMAN *et. al*, 2011), possuindo potencial de impactar as etapas da

construção (posicionamento de trabalhadores, material e equipamento), uma vez que permite a gestão visual baseada nas atividades de projeto e construção (REINBOLD *et. al*, 2019).

No contexto da etapa de *design*, a curva de esforço (Figura 4) elaborada por MacLeamy (2010), aborda os fluxos de trabalho proveniente do método tradicional e com o uso do BIM.

Figura 4: Curva de MacLeamy



Fonte: Patrick MacLeamy, 2010.

Observa-se que no fluxo tradicional há um esforço maior na etapa de documentação dos dados gerados por projetos. Já no fluxo de trabalho BIM, há um maior esforço na etapa de detalhamento, no entanto, em seguida, o trabalho é reduzido, e a justificativa para isso é que o BIM consegue extrair automaticamente grande parte da documentação, diminuindo custos e erros, sendo possível a realização de modificações e validações de forma mais versátil ao longo da execução.

Prosseguindo a análise da Curva de MacLeamy, verifica-se que a partir do avanço da obra, as consequências das alterações dos projetos possuem maiores impactos de custos adicionais. Em contrapartida, o impacto de possíveis alterações no contexto de melhora de performance e custos é reduzido conforme o andamento e execução da construção. Nesse contexto, observa-se que a etapa de projeto é de suma importância, visto a possibilidade de determinar soluções que impactam a performance e redução de custos de um empreendimento.

Por conseguinte, ressalta-se que desenhos não atendem de forma ampla as necessidades informacionais provenientes de um empreendimento, sendo que essa lacuna pode ser preenchida com o BIM (FERREIRA, 2015), uma vez que a metodologia pode ser

classificada como uma estrutura integrada que agrega diferentes formas de abordagens no sistema como um todo, podendo integrar não só modelos de informações, mas também modelos de processos (SUCCAR, 2009).

Assim, modelos BIM podem ser entendidos como modelos de informações do empreendimento; um processo colaborativo entre os envolvidos, através da tecnologia da informação; e um mecanismo para o gerenciamento do ciclo de vida de uma edificação (NBIMS, 2008).

De acordo com o Guia AsBEA, os principais usos de modelos BIM no ciclo de vida do empreendimento nas etapas de projeto, construção e operação e manutenção, são:

- **Projeto**
 - Conceção do projeto;
 - Documentação do projeto;
 - Visualização do projeto;
 - Compatibilização dos projetos;
 - Revisão de projeto;
 - Análise de eficiência energética;
 - Avaliação de critérios de sustentabilidade;
 - Análises de engenharia;
 - Extração de quantitativos.

- **Construção**
 - Planejamento da logística de canteiro;
 - Planejamento e controle 4D;
 - Coordenação 3D;
 - Fabricação digital;
 - Gestão de custos;
 - Maquetes virtuais.

- **Operação e Manutenção**
 - Programação de manutenção preventiva;
 - Análise dos sistemas do edifício;
 - Gerenciamento dos espaços;
 - Plano de evacuação do edifício;
 - Modelo consolidado (final).

Com relação a etapa de processo de construção, principal foco do presente trabalho Borjegahleh; Sardroud (2016) citam benefícios da aplicação do BIM em sistemas

industrializados (construção *off-site*), com destaque no uso do BIM 4D em etapas de planejamento e gerenciamento do fluxo de recursos em diferentes etapas.

Desse modo, observa-se que a metodologia BIM possui potencial de abordar todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento, sendo possível utilizar características-chaves da metodologia para potencializar os resultados de acordo com cada objetivo esperado.

3.5 SINERGIA RELAÇÃO BIM-LEAN

Apesar da independência conceitual, há uma interação sinérgica entre ambas as metodologias. Enquanto o *Lean Construction* aborda conceitualmente a gestão da construção e do projeto, visando a redução de desperdícios. O BIM é uma plataforma com potencialidade catalisadora para a implementação do *Lean* (SACKS *et al.*, 2010).

Ainda, os autores Sacks *et al.* (2010) destacaram que ao abordar o BIM, há potencialidade de transformar não só no processo de desenho, mas sim, na construção como um todo. Além de que, ao utilizar os princípios *Lean* como abordagem de uso do BIM, é possível obter melhoras no desempenho BIM. Logo, qualquer empresa ou profissional que esteja considerando a implementação dos princípios *Lean*, devem considerar o uso do BIM. Ao mesmo tempo que, qualquer empresa ou profissional que opte pelo BIM, deve considerar mudanças processuais que contribuem com os princípios da Construção Enxuta.

Para fundamentar tal sinergia, Sacks *et al.* (2010) identificaram conexões entre as funcionalidades BIM e os princípios *Lean* com isso, tal estudo iniciou uma extensa pesquisa sobre a relação BIM e *Lean*, citada em mais de 500 trabalhos científicos (HERRERA *et al.*, 2021).

Com isso, os autores formularam a matriz de conexão expressão no Quadro 6 a partir da identificação de relações obtidas através de estudos de casos. Em que, as células na cor verde representam interações benéficas, enquanto as células na cor vermelha representam interações que não possuíram resultados positivos.

Assim sendo, a estrutura de análise da interação BIM-*Lean* objetiva orientar e estimular pesquisas, além de abordar o apoio das funcionalidades BIM para realizar mudanças de processos de acordo com os princípios *Lean Construction* (Sacks *et al.*, 2009).

Visando investigar tal integração, um estudo de caso conduzido por Garrido (2005) envolvendo 5 empreendimentos na cidade de Curitiba, Paraná, possuía como objetivo analisar os impactos da implementação do BIM, com base nos princípios *Lean Construction*, no resultado dos empreendimentos. Nesse contexto, ao utilizar funcionalidades promovidas por modelos BIM em diferentes fases do empreendimento foi possível deixar o processo de execução mais enxuto. Portanto, algumas características como contextualização da produção, visualização do status produtivo, comunicação online, checagem de

incompatibilidades automáticas, geração automatizada de tarefas e visualização do BIM 4D causaram grandes impactos de redução de perdas.

Nesse contexto, Clemente (2012) cita que a principal causa para a falta de desempenho das edificações é a dificuldade em visualizar o fluxo de produção e transmissão eficiente de informação entre os envolvidos. Logo, ao abordar uma gestão BIM-*Lean* que prevaleça uma metodologia de trabalho com planejamento e organização, há uma melhora significativa no fluxo de trabalho, reduzindo atividades em valor acrescentado em até 30%.

Enquanto Mollasalehi; Fleming (2016) citam que a partir da visualização, detecção de *clash*, planejamento 4D, colaboração e comunicação facilitada é possível alcançar benefícios como redução de desperdícios. Desse modo, com a visualização BIM, os proprietários podem ter uma maior compreensão das etapas do projeto, sendo possível ter um maior entendimento do projeto como um todo, evitando mudanças em etapas posteriores e caso seja identificado *clash*, tais conflitos também podem ser solucionados antecipadamente, sem comprometer o andamento da obra. Com relação ao planejamento 4D, é possível simular o processo de construção com modelos BIM, auxiliando a tomada de decisão e entendimento de etapas críticas do projeto. Por fim, cita-se as etapas de comunicação facilitadas, uma vez que os participantes do projeto trabalham de forma colaborativa.

Contudo, há uma lacuna na literatura no que se diz respeito as evidências de integração entre o BIM e princípios *Lean* (MOLLASALEHI; FLEMING, 2016; MELLADO; LOU, 2020; ANDÚJAR-MONTOYA *et al.*, 2016), sendo importante a realização de mais estudos para entender como ambas as metodologias interagem entre si.

4. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para a abordagem da presente pesquisa, foram selecionados 30 artigos que podem ser analisados no Quadro 7.

Quadro 7: Artigos Incluídos

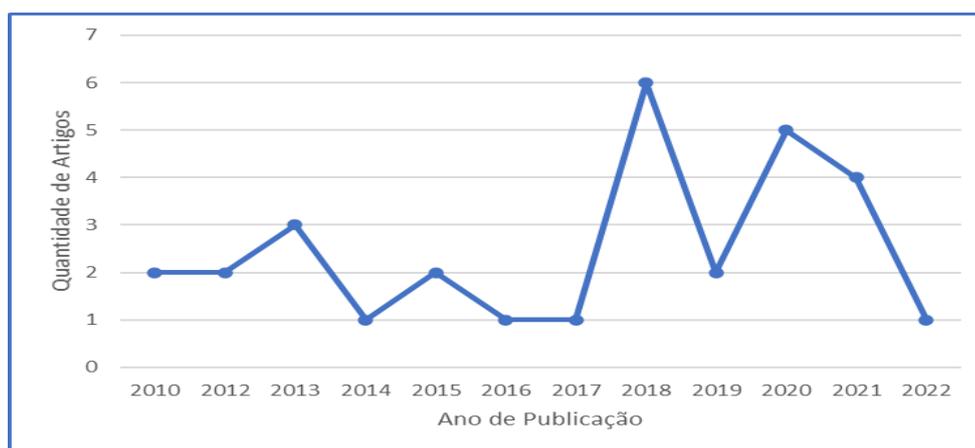
ID Artigo	Nome do Trabalho	Autores	Ano
1	A Critical Review of Visual Aid Implementation in Lean Construction Scheduling Process	Pratama, L.A.; Dossick, C.S.	2020
2	A lean construction and BIM interaction model for the construction industry	Bayhan, H.G.; Demirkesen, S.; Zhang, C.; Tezel, A.	2021
3	Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects	Evans, M.; Farrell, P.; Zewein, W.; Mashali, A.	2021
4	Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review	Alarcon, L.F.; Mandujano, M.G.; Mourgues, C.	2013
5	Bim and lean construction interactions: A state-of-the-art review	Andújar-Montoya, M.D.; Galiano-Garrigos, A.; Rizo-Maestre, C.; Echarri-Iribarren, V.	2019
6	BIM and Lean interactions from the bim capability maturity model perspective: A case study	Hamdi, O.; Leite, F.	2012
7	BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management	Heigermoser, D.; García de Soto, B. and Abbott, E.L.S.; Chua, D.K.H.	2019
8	BIM-enhanced collaborative smart technologies for LEAN construction processes	Guerriero, A.; Kubicki, S.; Berroir, F.; Lemaire, C.	2018
9	BIM-lean synergies in the management on MEP works in public facilities of intensive use - A case study	Clemente, J.; Cachadinha, N.	2013
10	Building information modeling and lean construction: Technology, methodology and advances from practice	Gerber, D.J.; Becerik-Gerber, B. and Kunz, A.	2010
11	Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry	Mellado, F.; Lou, E.C.W.	2020
12	CAN BIM furnish lean benefits - An Indian case study	Singhal, N.; Ahuja, R.	2018
13	Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project	Dave, B.; Boddy, S.; Koskela, L.	2013
14	Combining green building and lean construction to achieve more sustainable development in south africa	Watkins, J.; Sunjka, B.P.	2020
15	Creating sustainable construction: Building informatics modelling and lean construction approach	Lekan, A.; Oluchi, E.; Faith, O.; Opeyemi, J.; Adedeji, A.; Rapahel, O.	2018
16	Development of an experimental waste framework based on BIM/Lean concept in construction design	Mollasalehi, S.; Fleming, A.; Talebi, S.; Underwood, J	2016
17	Extending the interaction of building information modeling and lean construction	Oskouie, P.; Gerber, D.J.; Alves, T.; Becerik-Gerber, B.	2012

18	Integration of Building Information Modeling (BIM) and Prefabrication for Lean Construction	Goyal, M.; Gao, Z.	2018
19	Intelligent products: Shifting the production control logic in construction (with lean and Bim)	Dave, B.; Kubler, S.; Pikas, E.; Holmström, J.; Singh, V. and Främling, K.; Koskela, L.; Peltokorpi, A.	2015
20	Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review	Saieg, P.; Sotelino, E.D.; Nascimento, D.; Caiado, R.G.G.	2018
21	Interdisciplinary framework: A building information modeling using structural equation analysis in lean construction project management	Silva, D.; De Jesus, K.L.; Villaverde, B.; Enciso, A.I.; Mecija, A.N.; Mendoza, J.O.	2021
22	Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases	Mahalingam, A.; Yadav, A.K.; Varaprasad, J.	2015
23	Lean Construction and BIM in the Value Chain of a Construction Company: A Case Study	Osorio-Gomez, C.-C.; Moreno-Falla, M.-J.; Ospina-Alvarado, A.; Ponz-Tienda, J.-L.	2020
24	Lean construction management techniques and BIM technology - Systematic literature review	Michalski, A.; Glodzinski, E.; Bode, K.	2021
25	Quality control of a complex lean construction project based on KanBIM technology	Liu, J.; Shiv, G.	2017
26	Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction	Sacks, R.; Radosavljevic, M.; Barak, R.	2010
27	Research on cost control of construction project based on the theory of lean construction and BIM: Case study	Wen, Y.	2014
28	The last planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration	Schimanski, C.P.; Marcher, C.; Monizza, G.P.; Matt, D.T.	2020
29	Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study: Using BIM as a lean management tool	Eldeeb, A.M.; Farag, M.A.M.; Abd El-hafez, L.M.	2022
30	Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams	Zhang, X.; Azhar, S.; Nadeem, A.; Khalfan, M.	2018

Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando a Figura 5, observa-se que o primeiro artigo publicado dentro da abordagem estudada foi em 2010. Contudo, a partir de 2018 o tema começou a ter um maior destaque, visto o aumento das publicações. Nesse sentido, é possível observar que se trata de um tema em ascensão e promissor que demanda maiores pesquisas sobre.

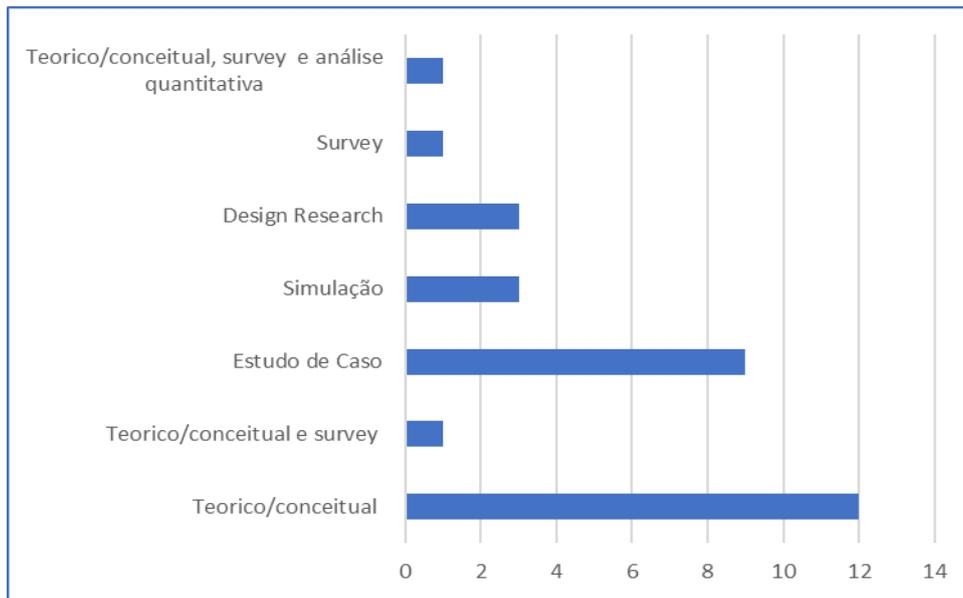
Figura 5: Gráfico da relação de quantidade de artigos e ano de publicação



Fonte: Autoria própria (2022).

Com relação ao método de pesquisa, observou-se que o Estudo de Caso e Teórico/conceitual (Figura 6) são os métodos mais utilizados, sendo que alguns dos artigos que abordam outras metodologias, também utilizam o método Teórico/conceitual com um total de 14 artigos (47%) enquanto 9 artigos utilizam Estudo de Caso (30%). Tal situação pode ser entendida em função da lacuna existente na literatura do tema proposto. Dessa forma, os estudos observados tendem a realizar um abrangente estudo teórico com intuito de obter entendimento da situação atual na literatura, ou realizam estudos de caso e simulações para aplicar estruturas visando explorar resultados e obter conclusões.

Figura 6: Gráfico da relação de quantidade de artigo e metodologia



Fonte: Autoria própria (2022).

Sobre a origem dos estudos, observando o Figura 7, é possível verificar que os Estados Unidos e os países pertencentes ao Reino Unido possuem uma maior quantidade de estudos com o tema proposto.

Figura 7: Gráfico da relação de quantidade de artigo e origem



Fonte: Autoria própria (2022).

Com intuito de analisar os estudos incluídos, formulou-se o Quadro 8 visando compilar as principais informações dos artigos incluídos na RSL

Quadro 8: Síntese dos artigos incluídos

ID Artigo	Publicação	Metodologia	Funcionalidades BIM	Métodos, técnicas, ferramentas integradas e/ou princípios LC	Benefícios, observações e principais conclusões
1	(Pratama; Dossick, 2020)	Teórico/conceitual	Visualização 3D e práticas de planejamento BIM 4D	<i>Last Planner System (LPS)</i>	A visualização é uma funcionalidade importante para as etapas de planejamento, situação que o BIM pode atuar.
2	(Bayhan <i>et al.</i> , 2021)	Teórico/conceitual	Precisão da informação agregada em modelos, visualização e produção coordenada de modelos.	Estudo destaca a implementação do <i>Last Planner System (LPS)</i> e Melhoria Contínua.	Estudo cita a melhora no controle de produção a partir da integração BIM-LEAN.
3	(Evans <i>et al.</i> , 2021)	Teórico/conceitual e survey	Aplicações de funcionalidades BIM nas fases de planejamento, projeto e construção de projetos ao longo do ciclo.	Análise dos princípios <i>Lean</i> .	Os participantes da pesquisa acreditam que o princípio "vá e veja por si mesmo para basear tomadas de decisões" e a funcionalidade "estimativa automatizada de custo/tempo na etapa de projeto" possui maior impacto no andamento de um projeto.
4	(Alarcón <i>et al.</i> , 2013)	Teórico/conceitual	Utilização de Modelos VDC (<i>Virtual Design and Construction</i>).	Implementação do VDC a partir de uma perspectiva <i>Lean Construction</i> .	Identificado novas interações BIM-LEAN que podem complementar a matriz proposta do Sacks <i>et al.</i> (2010).
5	(Andújar-Montoya <i>et al.</i> , 2019)	Teórico/conceitual	O estudo cita as funcionalidades: avaliação de alternativas, visualização e status do processo, fornecimento de quantitativos, orçamentos e cronogramas, utilização de informações com antecedência, fluxo de informações, interações, coordenações e colaborações facilitada, documentação, <i>clash detection</i> , auxílio nas etapas de programação e definição clara das entregas entre envolvidos.	Controle dos processos, redução de variabilidade, aumento da transparência e flexibilização do processo.	A metodologia BIM contribui para a implementação de princípios <i>Lean</i> , oferecendo suporte em etapas de processos, que contribuem consideravelmente com a redução de resíduos de construção, apoio na tomada de decisão, comunicação e troca de informação. Enquanto que o <i>Lean</i> auxilia o uso BIM no que diz respeito a sua correta implementação, evitando a delegação de responsabilidades pouco claras, instruções inadequadas e falta de comunicação.
6	(Hamdi; Leite, 2012)	Estudo de Caso	Modelo BIM das disciplinas de estrutura, instalações e arquitetura para realizar etapas de coordenação, verificação constante e visualização da forma	Utilização da Matriz proposta por Sacks <i>et al.</i> (2010)	Estudo analisa a conformidade de algumas das interações BIM- <i>Lean</i> proposta por Sacks <i>et al.</i> (2010) em um estudo de caso que possui maturidade BIM.
7	(Heigermoser <i>et al.</i> , 2019)	Simulação	Visualização 3D	<i>Last Planner System (LPS)</i>	A falta de integração das etapas de um projeto acaba sendo um fator que dificulta a implementação do <i>Lean</i> , com a utilização do BIM é possível tratar o

					projeto como um processo único.
8	(Guerriero <i>et al.</i> , 2018)	Design Research	Utilização dos recursos BIM 4D	Utilização de ferramentas do <i>Last Planner System (LPS)</i> , gestão de estoques, simulação e gestão do canteiro de obra, mapeamento do fluxo de valor, PPC (Plano percentual concluído), <i>JUST IN TIME</i> e gestão de qualidade.	Estudo promove o conceito de um canteiro de obras conectado com planejamento colaborativo de pré-requisitos, planejamento dinâmico do layout do canteiro de obras, materiais no local e planejamento e rastreabilidade de entregas.
9	(Clemente; Cachadinha, 2013)	Estudo de Caso	Utilização do BIM para visualização do processo e apoio nas atividades de planejamento e coordenação.	Mapeamento do Fluxo de Valor	A partir da identificação das sinergias BIM-LEAN foi possível estabelecer uma proposta de coordenação de equipe que integra o BIM e o <i>Lean</i> . A partir disso, foi possível alcançar objetivos como redução de atividades sem valor agregado e alinhamento dos envolvidos para que entendessem o projeto como um único objetivo e cronograma geral.
10	(Gerber <i>et al.</i> , 2010)	Estudo de Caso	Automatização, criação de pacotes de trabalho, nivelamento de recursos, planejamento de valores, pré fabricação e coordenação.	Análise dos princípios <i>Lean</i> atingidos a partir do uso do BIM nos estudos de caso.	A utilização de BIM nos projetos proporcionou maior valor agregado uma vez que reduziu significativamente desperdícios por tempo, material e orçamento.
11	(Mellado; Lou, 2020)	Teórico/conceitual	Abordagem Integrativa	Ferramentas que auxiliam a identificação e eliminação de desperdícios.	Análise teórica entre a sinergia BIM, <i>Lean</i> e Sustentabilidade. Autores citam tais conceitos funcionam melhor em conjunto. Proporcionando ganhos de eficiência, redução de resíduos, valor agregado, redução de retrabalhos e melhoria no desempenho dos projetos.
12	(Singhal; Ahuja, 2018)	Estudo de Caso	Funcionalidades BIM como <i>Clash Detection</i> , coordenação, quantitativos e simulação 4D.	Alcance de princípios <i>Lean</i> através do BIM	A utilização de BIM tende a alcançar benefícios <i>lean</i> , aumento da confiança na equipe do projeto e melhoria do fluxo de trabalho.
13	(Dave <i>et al.</i> , 2013)	Design Research	Visualização e mapeamento de tarefas através de modelos BIM.	<i>Last Planner System (LPS)</i>	Sinergia BIM-LEAN foi analisada através do software <i>VisiLean</i> que proporciona a integração entre fluxo de trabalho e modelo BIM para auxiliar a visualização de múltiplas tarefas, planejamento e planos semanais. Software também notifica os proprietários sobre restrições e tarefas atrasadas.
14	(Watkins; Sunjka, 2020)	Teórico/conceitual	Aborda o BIM como um facilitador para o desempenho da implementação do <i>Lean Construction</i> .	Princípios <i>Lean</i>	Dentre outros fatores, estudo ressalta o papel da construção pré-fabricada e a interação benéfica com a construção enxuta e conceitos de sustentabilidade.
15	(Lekan <i>et al.</i> ,	Survey	Modelo BIM para apoiar	Análise a partir de	Estudo propõe um modelo que auxilia a

	2018)		rápida geração e avaliação de alternativas, geração automatizada de desenhos, comunicação e visualização.	uma perspectiva dos princípios <i>Lean Construction</i> .	implementação do Lean Construction utilizando funcionalidades BIM.
16	(Mollasalehi; Fleming, 2016)	Design Research	Funcionalidades modelo com visualização 3D	Princípios <i>Lean</i>	Abordagem BIM-Lean visando a redução de desperdícios, obtendo vantagens como melhora no fluxo de trabalho, qualidade do projeto, redução na carga de trabalho, geração de valor agregado e economia de tempo.
17	(Oskouie <i>et al.</i> , 2012)	Teórico/conceitual	Funcionalidades BIM	Princípios Lean	Estudo propõe uma ampliação da matriz proposta por Sacks <i>et. al.</i> (2010).
18	(Goyal; Gao, 2018)	Teórico/conceitual	Estrutura BIM	<i>Last Planner System (LPS)</i>	Estudo estabelece uma estrutura de integração LPS e BIM, e BIM e pré fabricação.
19	(Dave <i>et al.</i> , 2015)	Teórico/conceitual	Utilização de BIM, Internet das Coisas e sistemas de informações concentrada no produto.	Estrutura de Processo apoiado no <i>Lean Construction</i> .	Trabalho propõe uma combinação de soluções tecnológicas para abordar processo-produto, visando gerir projetos de uma forma mais colaborativa e de acordo com a gestão da informação e cadeia de abastecimento.
20	(Saieg <i>et al.</i> , 2018)	Teórico/conceitual	Analisa a atuação do BIM em etapas de design e ao longo do processo da construção.	Princípios Lean	Estudo investiga a interação do BIM, <i>Lean</i> e sustentabilidade. Uso integrado possui potencial de atingir conceitos de sustentabilidade e melhorar produtividade.
21	(Silva <i>et al.</i> , 2021)	Teórico/conceitual, survey e análise quantitativa	Funcionalidades BIM	Princípios Lean	Estudo investiga como as restrições escopo, tempo e custo podem ser afetadas pela incorporação do BIM e dos princípios <i>Lean Construction</i> .
22	(Mahalingam <i>et al.</i> , 2015)	Estudo de Caso	Visualização 3D e simulação 4D	<i>Last Planner System (LPS)</i>	Estudo indica que o uso do LEAN e do BIM em conjunto podem melhorar o desempenho de projetos não só na Índia (local do estudo de caso), mas também em outros lugares.
23	(Osorio-Gomez <i>et al.</i> , 2020)	Estudo de Caso	Interação de empreiteiros através do BIM, comunicação e disseminação de informações.	<i>Last Planner System (LPS)</i> , definição de responsáveis e melhora de processos.	Estudo apresenta como a integração BIM-LEAN afeta a cadeia de valor da empresa em todos os departamentos, construção e processos, além da melhoria e otimização da estrutura organizacional da empresa.
24	(Michalski <i>et al.</i> , 2021)	Teórico/conceitual	BIM como uma plataforma de apoio ao fluxo de informações.	Princípios <i>Lean</i> para organização do trabalho.	BIM e <i>Lean</i> apoiam a eficiência, produtividade e sustentabilidade da construção.
25	(Liu; Shi, 2017)	Simulação	Deteção de colisões, simulação, controle de pré fabricação e componente e integração com cadeia de fornecimento.	Sistema KanBIM construído com base no LPS.	Estudo aborda um sistema de qualidade KanBIM visando processos mais eficientes com análises e ferramentas tecnológicas para controle do sistema.
26	(Sacks <i>et al.</i> , 2010)	Simulação	Utilização de funcionalidades BIM para sistemas de gerenciamento.	Sistema KanBIM construído com base no LPS.	O sistema KanBIM amplia o LPS uma vez que fornece estrutura e informação para coordenar o planejamento, fornecendo a visualização não só do produto da construção, mas do processo em si.

27	(Wen, 2014)	Estudo de Caso	BIM na fase para monitorar e eliminar erros e colisões de projeto, além de evitar retrabalhos e gerenciamento da cadeia de fornecimentos e uso de BIM 4D.	Mapeamento do Fluxo de Valor e LPS.	Lean Construction e BIM em construções podem melhorar a eficiência do projeto, reduzir atividades sem valor acrescentado, controlar os custos e aumentar o valor agregado do projeto. Estudo foca no gerenciamento de custos.
28	(Schimanski <i>et al.</i> , 2020)	Teórico/conceitual	BIM 4D e informações proveniente dos modelos.	Last Planner System (LPS)	Estudo ressalta a importância de abordar o LPS e BIM de forma integrada, tal como um sistema de informação. Além de destacar a falta de uma matriz de integração BIM-LPS derivada da matriz BIM-LEAN proposta por Sacks <i>et al.</i> (2010).
29	(Eldeep <i>et al.</i> , 2022)	Estudo de Caso	Fluxo de trabalho, pré fabricação, <i>Clash Detection</i> , alterações facilitadas.	Eliminação de desperdícios.	BIM apoia a redução de erros, omissões e mudanças de projetos, o que implica em princípios Lean de redução de desperdício e aumento do valor agregado para o cliente final.
30	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)	Estudo de Caso	BIM como uma plataforma de comunicação para equipes de trabalho, auxiliando a coordenação, comunicação e produtividade do projeto.	Redução de tempo de ciclo, variabilidade e desperdícios.	Estudo analisa a contribuição do BIM na melhoria da coordenação e colaboração de equipes, aumento na qualidade dos projetos e redução de custos e desperdícios.

Fonte: Autoria própria (2022).

Dentre os artigos incluídos, observa-se que 12 deles citam explicitamente a utilização do LPS. Tal observação pode ser entendida em função da capacidade do BIM em desenvolver modelos que estejam de acordo com os níveis de informações e detalhes de visualizações coerente ao que estabelece o LPS (GOYAL; GAO, 2018).

O modelo protótipo proposto pelos autores Heigermoser *et al.*, 2019, utilizou ferramentas do LPS baseada na visualização 3D e simulação 4D com intuito de obter entendimento dos elementos que são causa raiz de resíduos e desperdícios, isto é, que não possuem valor agregado. A partir da diferença entre os materiais planejados e provenientes do modelo *as-built* os autores citam a possibilidade de identificar problemas e propor soluções a partir do princípio Melhoria Contínua.

A integração BIM-*Lean* também é abordada por Liu; Shi (2017) em Sacks *et al.*, (2010), a partir de um sistema KanBIM fundamentado por conceitos do LPS.

No trabalho proposto por Liu; Shi (2017), tal sistema é abordado a partir das funcionalidades detecção de colisão, simulação, controle de pré-fabricados e integração com cadeia de fornecimento. A estrutura em questão auxilia etapas de análises para controle de qualidade do sistema como um todo.

O modelo KanBIM apresentado por Sacks *et al.* (2010) proposto detalha as informações que devem estar disponíveis no modelo BIM para apoiar a coordenação de processos no canteiro de obras. Então, o modelo atua como um sistema de gerenciamento que fornece uma estrutura de coordenação, em que, as principais preocupações do sistema foi a visualização do processo, produto e método, status executivo, apoio em etapas de planejamento, negociação e *feedback* facilitado, formalizações para melhorias; fluxo contínuo e estabilidade do trabalho, e avaliação da tarefa em tempo real. Além disso, a redução da falta de disponibilidade informacional, identificada como desperdício pelos autores, pode ser atingida, visto que os líderes poderão consultar e obter informações importantes a partir de um canal único.

O uso da Programação 4D é citado por Guerriero *et al.* (2018) como funcionalidade que visa gerenciar as ferramentas propostas pelo *Last Planner System* (LPS) de checagem diária, planejamento semanal, *look-ahead schedule*, cronograma mestre e cronograma de fases. Dessa forma, os diferentes níveis de planejamento do LPS podem ser relacionados com diferentes níveis de desenvolvimento BIM, por exemplo. Além do uso da Comunicação Visual 4D como uma forma de gestão Kanban, com intuito de ser possível ter um melhor entendimento, previsão e otimização do projeto em diferentes níveis. Assim, vincular o modelo paramétrico de acordo com código de cores para tarefas concluídas, em desenvolvimento ou concluídas é uma forma interessante de gerir a comunicação entre os interessados no projeto (GUERRIERO *et al.*, 2018).

Com intuito de desenvolver um modelo para testar conceitos *Lean* e BIM os autores Bayhan *et al.* (2021) subcategorizaram em Comunicação, Produção e Visualização as funcionalidades sinérgicas BIM-*Lean* a partir de uma extensa revisão da literatura. Dentre tais, este trabalho destaca:

- Colaboração em etapas projetuais e coordenação entre equipes;
- Implementação do LPS com acesso em tempo real através da modelagem paramétrica;
- Comunicação baseada em objeto, auxiliando etapas de pré fabricação;
- Melhoria contínua em função do compartilhamento e armazenamento de dados de modelos BIM;
- Flexibilidade projetual frente a diferentes variáveis;
- Auxílio no fluxo de informações;
- Melhora no planejamento e programação da produção, sendo possível aplicar conceitos *Just in Time*;
- Controle de Produção;
- Redução da variabilidade;
- Padronização de processos impactando em redução de atividades ineficientes e desperdícios;
- Priorização do que agrega valor ao cliente final;
- Redução de erros em função das funcionalidades de visualização;
- Geração rápida de modelo e melhora nos detalhes e representação de *design*.

Ao fim do estudo, os autores constaram que a categoria Produção pode ser considerada como um elemento central, visto a importância do controle de produção promovido pelo LPS. Além de destacar o uso racional de recursos de produção a partir do BIM para intensificar as funcionalidades que o LPS proporciona. Assim, de acordo com os autores, o controle de produção e padronização são características fundamentais para que a linha de produção seja mantida de forma a eliminar desperdícios e agregar valor máximo.

A pré fabricação também é abordada pelos autores Goyal; Gao (2018) através de uma estrutura para integrar o LPS, BIM e a pré fabricação. Tal integração se justifica em função da relação dos elementos pré-fabricados com conceitos *Just in Time* tratados pelo *Lean*. Logo, os autores abordam uma estrutura para desenvolver fluxos de trabalho a partir de um LPS atualizado, modelos BIM coordenados progressivamente e redução de variabilidade de trabalho. Dentre os índices de relevância abordado pela estrutura dos autores com relação a pré fabricação, destaca-se a velocidade de instalação, impactando

em benefícios no cronograma e exatidão dos planos mapeados no *lookahead* proposto pelo LPS.

Além disso, ao utilizar elementos pré-fabricados, características e vantagens processuais da indústria da manufatura podem ser absorvidas à indústria da construção civil. Dessa maneira, a exatidão dos elementos pré-fabricados aumenta, o que pode evitar conflitos no local de instalação, e, conseqüentemente, aumenta a busca por padronização de etapas e redução de desperdícios por retrabalho. Tal demanda por exatidão dos elementos-pré-fabricados pode ser atingida a partir do uso de modelos BIM (GOYAL; GAO, 2018). Nesse contexto, o BIM pode suportar atividades de pré fabricação, reduzindo tempo e desperdícios por espera em processos de construção, agregando valor ao resultado final esperado (ELDEEP *et al.*, 2022).

Ainda, apesar das constatações na literatura de que sistemas com funcionalidades 4D podem suportar princípios *Lean*, há poucas opções de estruturas para tratar tal implementação em conjunto (GUERRIERO *et al.*, 2018).

Dave *et al.* (2013) citam o software *VisiLean* como um programa desenvolvido que relaciona o fluxo de trabalho enxuto com o modelo BIM, auxiliando a visualização do produto, modelo de processo e apoiando ferramentas do LPS. Na pesquisa o programa é utilizado em um projeto de infraestrutura. Para tal, os autores destacam a necessidade de utilizar modelos com capacidade paramétrica e nível de detalhe coerente. Além de ser necessário analisar as restrições adequadas e participação ativa dos envolvidos para que o software atinja seu potencial.

Empresas implementam o BIM em etapas projetuais, mas ainda não possuem a percepção que uma maior eficiência pode ser alcançada a partir da integração com o *Lean Construction* (LEKAN *et al.*, 2018).

Os processos de trabalho e coordenação adequada entre os participantes são importantes aspectos para que a implementação do BIM ocorra de uma forma adequada. Além disso, o LPS também pode auxiliar tal implementação, uma vez que funcionalidades BIM podem ser “puxadas” com o auxílio do LPS de acordo com necessidades do empreendimento (MAHALINGAM *et al.*, 2015).

Modelos BIM podem atuar como um eficiente sistema de planejamento e controle de produção, além da possibilidade de detecção rápida de conflitos entre instalações e a potencialidade da pré fabricação visando instalações mais rápidas e com cronograma reduzido. Vantagens significativas no ponto de vista do LPS e planejamento a partir do *look ahead* para que o planejado esteja embasado a partir de uma estrutura mais confiável (GOYAL; GAO, 2018).

Apesar do destaque da sinergia do LPS e modelos paramétricos, tal integração ainda não é totalmente explorada (HEIGERMOSER *et al.*, 2019). Além de que, as funcionalidades

BIM 4D e as técnicas do LPS também não são totalmente compatíveis, visto que as publicações existentes na literatura que estudam ambas as metodologias integradas tendem a focar na tecnologia ao invés na fundamentação teórica sobre a comunicação entre os participantes projetual (PRATAMA; DOSSICK, 2020).

Nesse contexto, a cadeia de fornecimento fragmentada reflete em problemas de eficiência ao longo do ciclo de vida de um empreendimento, visto a importância da sincronização informacional (DAVE *et al.*, 2013). Assim, a otimização da cadeia de valor a partir do BIM e *Lean* é um elemento que pode gerar grande vantagem competitiva (OSORIO-GOMEZ *et al.*, 2020), visto que a falta do compartilhamento de informações pode impactar aumento de tempo e custo (MAHALINGAM *et al.*, 2015), desperdícios desalinhados com conceitos *Lean*.

Em suma, a gestão e processo da construção dependem das restrições de tempo, custo e escopo de projeto. Assim, a integração do BIM e *Lean* podem atuar na melhoria do escopo de projeto, redução de custos e eficiência no tempo (SILVA *et al.*, 2021). E, apesar do foco das ferramentas propostas pelo LPS não ser a redução de custos, o controle de custos é abordado por Wen (2014) como consequência da integração BIM-*Lean*. Consequentemente, a partir das práticas do LPS e o uso de funcionalidades BIM 4D no processo de construção, é possível fundamentar um projeto com fluxo controlável de trabalho. Logo, as funcionalidades derivadas do BIM 4D auxiliam planejadores a identificar e controlar restrições visando aumentar a eficiência do processo para manter o controle de custo e fluxo de trabalho.

Ao longo das etapas de construção, há uma dificuldade de implementação do *Lean* por conta da falta de integração das atividades. Entretanto, a partir do trabalho integrado proposto por funcionalidades provenientes de modelos BIM, é possível tratar o projeto como um único processo (HEIGERMOSER *et al.*, 2019; SCHIMANSKI *et al.*, 2020). Ainda, a metodologia BIM pode apoiar a implementação do *Lean* como sendo uma metodologia de suporte para processos, enquanto o *Lean* auxilia a implementação do BIM no que diz respeito a etapas de coordenação, liderança, planejamento e controle (ANDÚJAR-MONTOYA *et al.*, 2019).

Logo, entender a construção civil como um processo integrado, visto que tal interação entre as partes interessadas gera valor para o fluxo como um todo é de suma importância (OSORIO-GOMEZ *et al.*, 2020), uma vez que é um fator crucial para a implementação da metodologia *Lean* (HEIGERMOSER *et al.*, 2019).

Observa-se que, especificamente o LPS, possui pontos sinérgicos que podem ser melhor explorados pela metodologia BIM. Por isso, ressalta-se a importância em abordar diretamente tal integração através de uma matriz de integração BIM-LPS derivada da matriz BIM-*Lean* proposta por Sacks *et al.* (2010) (SCHIMANSKI *et al.*, 2020).

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), ferramenta utilizada pelo *Lean Production* para identificar atividades sem valor acrescentado pode ser aplicado a fim de otimizar a gestão da construtibilidade. Nesse caso, ao utilizar modelos 4D para simular diferentes alternativas seguindo conceitos *Lean*, é possível optar por escolhas com maior valor agregado (GUERRIERO *et al.*, 2018).

Além disso, as funcionalidades BIM e técnicas *Lean* podem ser utilizadas para auxiliar a coordenação do projeto, o que gera melhorias no fluxo de trabalho, reduzindo durações e atividades sem valor agregado, tais características são impulsionadas em função das funcionalidades de visualização do processo de modelos BIM (CLEMENTE; CACHADINHA, 2013). Além do apoio da funcionalidade de visualização 3D proveniente do produto em BIM para condução do MFV, o que proporciona a identificação e eliminação de erros projetuais e redução da variabilidade ao longo das etapas do projeto (WEN, 2014).

Os demais artigos incluídos abordam os princípios *Lean* e utilização da matriz proposta por Sacks *et al.* (2010) seguindo diferentes abordagens.

Com relação as interações da matriz proposta por Sacks *et al.* (2010) a interação “Redução da Variabilidade” e “Redução de Tempo de Ciclo” relacionam-se a esforços de planejamento com antecedência e prevenção de tarefas desnecessárias. Enquanto a integração com funcionalidades BIM auxilia, principalmente a visualização e tomada de decisão, o que, conseqüentemente, impulsiona uma construção enxuta (OSKOUIE *et al.*, 2012). Logo, a integração BIM-Lean pode apoiar processo-produto de uma forma mais colaborativa, uma vez que utiliza ferramentas para gerir informações (DAVE *et al.*, 2015).

Ainda, a metodologia BIM pode apoiar a implementação do Lean como sendo uma metodologia de suporte para processos. Dentre tais abordagens Evans *et al.* (2021), Gerber *et al.* (2010), Singhal; Ahuja, (2018), Alarcón *et al.* (2013) e Watkins; Sunjka (2020) propõem estudos que visam analisar os princípios atingidos a partir utilização do BIM ou, no caso do estudo proposto por Alarcón *et al.* (2013), a partir da implementação do VDC. Nesses estudos, é analisado os impactos das funcionalidades BIM em fases de planejamento e coordenação em etapas de construção.

Gerber *et al.* (2010) destacam o uso das funcionalidades BIM 4D para auxiliar a visualização do local e coordenação para aplicar mudanças mais rapidamente. No caso, tal uso refletiu em benefícios em etapas que utilizavam pré-fabricados em um dos estudos de caso, por exemplo. No caso, um dos pré-fabricados utilizados pelo projeto estudado, resultaria em conflitos de planejamento com outras etapas sequenciadas. Diante disso, foi possível atingir funcionalidades de rápida verificação de conflitos, resolução seguindo conceitos de integração e validação de produto. A pré fabricação pode se tornar uma forma popular de integração entre a construção enxuta e construção sustentável. Contudo, é necessário ter mais estudos que explorem tal relação e quais ferramentas podem ser

utilizadas como facilitador (WATKINS; SUNJKA, 2020). Ressalta-se que os artigos incluídos abordaram a pré fabricação como uma funcionalidade a ser explorada de modelos BIM.

A relação dos princípios *Lean* com funcionalidades BIM também foi abordada frente a conceitos de sustentabilidade por Watkins; Sunjka (2020), Michalski *et al.* (2021), Saieg *et al.* (2018), e Mellado; Lou (2020). Os autores exploram que quando corretamente implementadas, funcionam melhor em conjunto, impactando em ganhos de eficiência.

A redução de desperdício é abordada junto com a redução de tempo de ciclo e variabilidade como princípios atingidos a partir do BIM como uma plataforma de comunicação auxiliando a coordenação, comunicação, produtividade e redução de desperdícios (ZHANG *et al.*, 2018), sendo que tal redução é de suma importância para o desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, além dos ganhos em eficiência, valor agregado, redução de retrabalhos e melhoria do desempenho de projetos, a redução de resíduos também pode ser atingida a partir da integração BIM-Lean, sendo que, a partir das ferramentas propostas pelo Lean é possível entender a causa raiz de tais desperdícios. Identificar a causa raiz dos geradores de resíduos é primordial para determinar quais são os resíduos no processo de projeto (MOLLASALEHI; FLEMING, 2016).

Entretanto, observa-se uma lacuna na literatura no que se diz respeito as evidencias de integração entre o BIM e princípios *Lean* (MOLLASALEHI; FLEMING, 2016; MELLADO; LOU, 2020; ANDÚJAR-MONTOYA *et al.*, 2016) principalmente para explorar soluções práticas objetivando a redução de desperdícios em projeto através do conceito integrado e reestruturação do processo de construção (MOLLASALEHI; FLEMING, 2016)

Conseqüentemente, é importante destacar que o nível de maturidade BIM deve ser levado em conta para analisar o efeito que espera ser atingido da implementação de processos Lean (HAMDI; LEITE, 2012). Além que ambas as metodologias envolvem mudanças culturais semelhantes, apoiadas na colaboração projetual e de construção, otimização do sistema e participação ativa dos interessados ao longo do ciclo de vida de uma construção (ALARCÓN *et al.*, 2013).

Por fim, foi formulado o Quadro 9 para análise sistemática dos pontos abordados na presente discussão que serão utilizados como guia no tópico 4 do presente trabalho.

Quadro 9: Análise Interação Lean-BIM da RSL

LEAN	Funcionalidade BIM	Autores
LAST PLANNER SYSTEM	Visualização 3D	(Pratama; Dossick, 2020)
	Práticas de planejamento 4D	(Bayhan <i>et al.</i> , 2021)
	Precisão das Informações	
	Visualização 3D	
	Produção Coordenada de modelos	

	Visualização 3D	(Heigermoser <i>et al.</i> , 2019)
	Conceito projeto integrado	
	Recursos BIM 4D	(Guerriero <i>et al.</i> , 2018)
	Conceito projeto integrado	
	Planejamento colaborativo	
	Mapeamento de tarefas	(Dave <i>et al.</i> , 2013)
	Conceito projeto integrado	
	Apoio em etapas de planejamento	
	Informações integradas	(Goyal; Gao, 2018)
	Visualização	
	Visualização 3D	(Mahalingam <i>et al.</i> , 2015)
	Simulação 4D	
	Conceito projeto integrado	(Osorio-Gomez <i>et al.</i> , 2020)
	Comunicação	
	Fluxo de informação facilitada	
	Deteção de colisões	(Liu; Shi, 2017)
	Simulação	
	Integração com cadeia de fornecimento	
	Estrutura de informação	(Sacks <i>et al.</i> , 2010)
	Coordenação	
	Planejamento	
	Visualização	
	BIM 4D	(Schimanski <i>et al.</i> , 2020)
	Informações agregadas no modelo	
MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR	Visualização do processo	(Clemente; Cachadinha, 2013)
	Coordenação	
	Planejamento	
	Visualização 3D	(Wen, 2014)
	Simulação 4D	(Guerriero <i>et al.</i> , 2018)
PRÉ-FABRICAÇÃO	Visualização do produto e processo	(Gerber <i>et al.</i> , 2010)
	Verificação de conflito	
	Projeto integrado	
	Facilitador de desempenho	(Watkins; Sunjka, 2020)
	Modelagem dos elementos pré-fabricados	(Goyal; Gao, 2018)
	Exatidão da forma e informações	
	Controle de pré-fabricados	Liu; Shi, 2017
	Interação facilitada	
	Exatidão da forma e informações do elemento pré fabricado	(Eldeep <i>et al.</i> , 2022)
	Integração entre equipes	
	Extração de documentos	
SINERGIA BIM-LEAN	Práticas de planejamento 4D	(Evans <i>et al.</i> , 2021)
	Utilização de modelos VDC	(Alarcón <i>et al.</i> , 2013)

Visualização 3D	(Andújar-Montoya <i>et al.</i> , 2019)
Visualização processo	
Avaliação de alternativas	
Análise de informações	
Coordenação	
Interação e comunicação facilitadas	
Documentação facilitada	
<i>Clash Detection</i>	
Apoio em etapas de programação	
Coordenação	(Hamdi; Leite, 2012)
Verificação automatizada	
Visualização	
Automatização	(Gerber <i>et al.</i> , 2010)
BIM 4D	
Coordenação	
Visualização	
Conceito projeto integrado	(Mellado; Lou, 2020)
<i>Clash Detection</i>	(Singhal; Ahuja, 2018)
Coordenação	
Simulação 4D	
Extração de quantitativos	
Fluxo de informação facilitada	(Lekan <i>et al.</i> , 2018)
Avaliação de alternativas	
Geração automatizada de desenhos	
Visualização	(Mollasalehi; Fleming, 2016)
<i>Clash Detection</i>	
Programação e planejamento 4D	
Colaboração	
Comunicação	
Visualização	(Oskouie <i>et al.</i> , 2012)
Conceito projeto Integrado	
Tomada de decisão facilitada	
Informações concentradas no produto	(Dave <i>et al.</i> , 2015)
Coordenação	
Colaboração	
Apoio em etapas de design e processo	(Saieg <i>et al.</i> , 2018)
Conceito projeto integrado	(Silva <i>et al.</i> , 2021)
Fluxo de informação facilitada	(Michalski <i>et al.</i> , 2021)
<i>Clash Detection</i>	(Eldeep <i>et al.</i> , 2022)
Fluxo de trabalho facilitado	
Fluxo de alterações	
Plataforma com comunicação integrada	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Conceito projeto integrado	

Fonte: Autoria própria (2022).

5. Estudo de caso

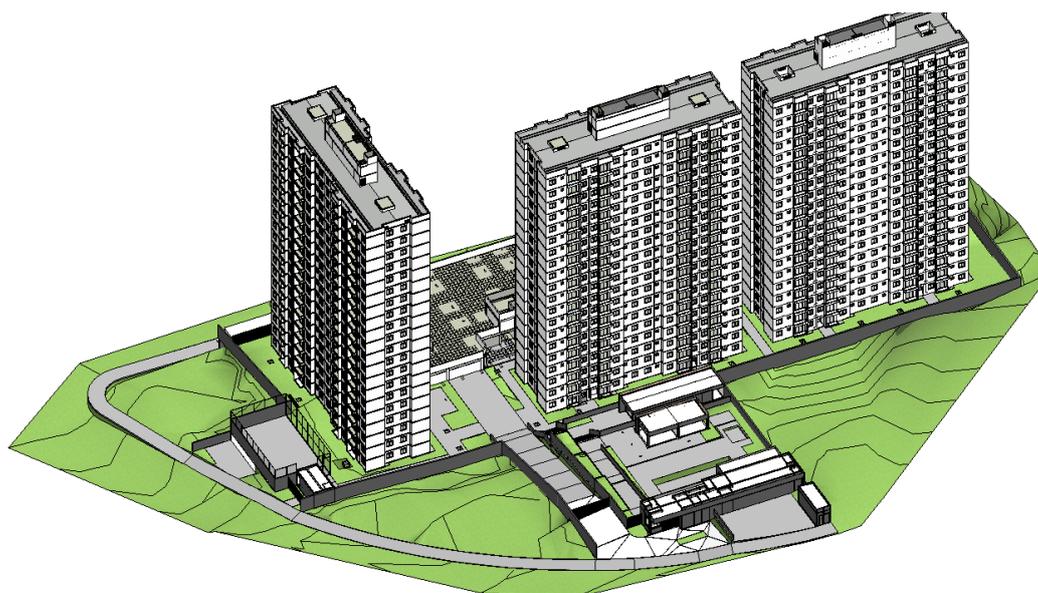
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A construtora estudada foi fundada em 1978 e possui sede na cidade de Campinas – SP, município em que atua, predominantemente, no setor residencial de alto padrão.

A maior parte dos empreendimentos executados pela construtora foram desenvolvidos pelo método construtivo convencional ou de alvenaria estrutural. Contudo, visando atuar em outros mercados, a empresa em questão iniciou um novo empreendimento de médio padrão da metodologia construtiva de parede de concreto moldada *in loco* com formas de alumínio.

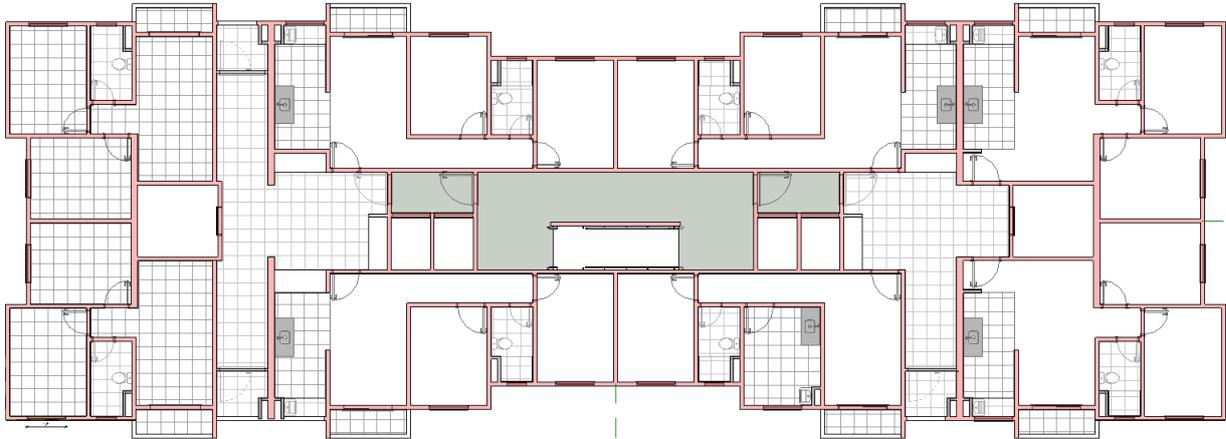
O empreendimento possui 3 edifícios residenciais com 8 apartamentos por andar em 19 pavimentos tipo e 1 pavimento térreo; sendo que cada pavimento possui 2 variações de *layout* de apartamento e *Hall*. Além disso, o empreendimento conta com um edifício garagem de 4 pavimentos reservados para vagas de estacionamento e anexos de quadra, academia, piscina, churrasqueira e salão de festas. A perspectiva do projeto pode ser analisada através da Figura 8, seguido da Figura 9 e 10 que ilustra o pavimento tipo da torre com as duas variações de *layout* dos apartamentos do empreendimento.

Figura 8: Perspectiva do Empreendimento



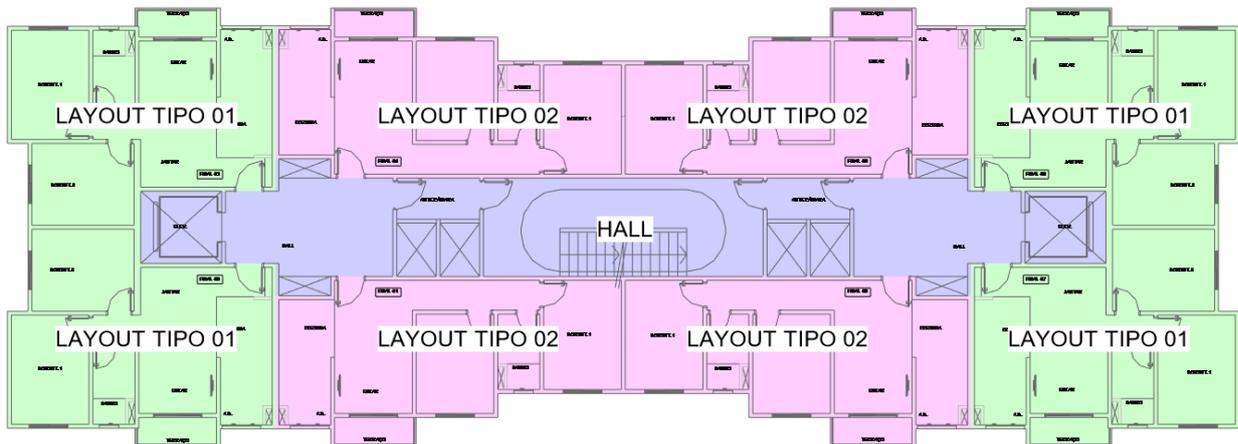
Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

Figura 9: Pavimento tipo da Torre



Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

Figura 10: Pavimento tipo da Torre



Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

O sistema construtivo de parede de concreto moldada *in loco* foi o incentivo inicial para que a mesma buscasse novas formas de planejamento e condução de obra visando extrair ao máximo uma característica importante das paredes de concreto: linha de produção cíclica e repetitividade. Dessa forma, a partir de tal sistema construtivo, a empresa identificou uma oportunidade de mudar estruturalmente a forma como a mesma conduz obras, optando por iniciar a implementação do *Lean Construction* nesse novo empreendimento com possibilidade de replicar a metodologia para seus futuros empreendimentos.

Os projetos da empresa construtora são realizados por escritórios terceirizados, sendo que, para a disciplina de estrutura, a empresa conta com a consultoria de um profissional especializado na metodologia de parede de concreto que os auxiliava no levantamento de materiais, fornecedores, particularidades executivas e demais atividades relacionadas a parede de concreto.

Além disso, a empresa optou por realizar a modelagem BIM de todas as disciplinas do empreendimento, visando realizar análise de *clash detection* e extrair quantitativos. A modelagem em BIM foi realizada por terceiros, em que, os mesmos responsáveis pela elaboração da modelagem forneciam uma planilha com os quantitativos das disciplinas solicitadas pela construtora e o caderno com a instrução de montagem dos elementos pré-fabricados.

5.2. IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA *LEAN*

O empreendimento estudado, começou a ser construído próximo ao início de outubro de 2021 e, até fevereiro de 2022, nenhuma atividade alinhada propositalmente aos conceitos do *Lean Construction* havia sido proposta ou executada. Algumas das atividades que haviam sido executadas, como por exemplo, etapas de terraplanagem e fundação, foram seguidas a partir da distribuição financeira e fluxo de caixa do empreendimento, seguindo o método tradicional.

Em fevereiro de 2022 a equipe de Engenharia iniciou o contato com o *Lean Construction* através de uma empresa de Consultoria especializada em Gerenciamento *Lean*, com intuito de alcançar melhores resultados e, principalmente, redução do tempo de entrega da obra.

Sabe-se que um dos fatores que resultaram sucesso no modelo de negócios da Toyota foi o foco nas pessoas (LINKER E HOSEUS, 2008). Assim, visando com que equipes estejam conceitualmente alinhadas, o primeiro passo para a implantação do Planejamento Enxuto no estudo de caso foi a definição de uma equipe que seria responsável pela fundamentação *Lean* no empreendimento. Por isso, formou-se a equipe *Lean* com os responsáveis por decisões importantes no empreendimento. Por consequência, o fluxo de informações começou a ser reduzido, uma vez que os envolvidos nas tomadas de decisões se reuniam para decidir pontos importantes sobre o empreendimento. Além de aumentar a integração e a visão das etapas como um todo, evitando com que atividades importantes fossem negligenciadas.

Com a formação da equipe, iniciou-se a realização de treinamentos e *workshops* ministrados por consultores com experiência na utilização da metodologia enxuta em contexto fabril, escritórios e construção civil. Dentre os participantes da equipe *Lean*, alguns

dos profissionais já haviam familiaridade com a metodologia, seja por experiências em outras empresas, estudos na universidade ou através de cursos independentes. Assim, apesar de não ter sido implementada no contexto da empresa, a equipe já tinha entendimento da importância do *Lean* para a condução de processos, e, nesse caso, no empreendimento.

Nos treinamentos e workshops realizados foram introduzidos os principais conceitos do *Lean Construction* com intuito de proporcionar a equipe a fundamentação teórica das ferramentas que seriam aplicadas no empreendimento. Os treinamentos ministrados abordaram a origem e os conceitos do *Lean Construction*, passando pelo Taylorismo, Sistema de Planejamento Puxado, Gestão e Gerenciamento Visual e KITS de Instalações Pré-Fabricados *Off Site*.

Inicialmente, a empresa contratada para a implementação do *Lean* analisou o empreendimento como um todo, bem como, quais as peculiaridades e demandas da empresa construtora.

Dessa forma, utilizou-se o Planejamento Puxado, Programação Semanal e *Make-Ready Planning* para as atividades de controle e planejamento de produção do empreendimento. Enquanto que, para as etapas de execução, utilizou-se elementos pré-fabricados de instalações de eletricidade e hidráulica. Ressalta-se que para ambos os métodos, foram utilizadas ferramentas de gestão visual com intuito de monitorar e garantir a eficiência no cronograma estabelecido.

5.3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS UTILIZADOS

Os tópicos a seguir serão desenvolvidos através da descrição da implementação dos níveis do LPS no planejamento e controle de produção do empreendimento, seguido da descrição dos elementos pré-fabricados utilizados nas etapas executivas do projeto.

5.3.1. Planejamento e controle de produção enxuto

Quando contatado o serviço da consultoria, a empresa construtora possuía com objetivo principal, a redução do tempo de entrega da obra. Assim, utilizou-se os níveis de planejamento propostos pelo LPS para enxergar as datas marcos objetivadas e quais seriam os serviços, materiais e demais recursos necessários para que o cronograma estabelecido fosse cumprido.

O primeiro Planejamento Puxado foi realizado para a data marco: concretagem do contrapiso da Torre 1 (T1). Dessa forma, inicialmente, para utilizar recursos de gestão visual, solicitou-se papel A0, notas adesivas de cores diferentes, canetas e papel de *flip chart* para que fosse possível conduzir o Planejamento Puxado.

Levando em consideração o caráter colaborativo e integrado do sistema, a participação dos representantes de diferentes setores é de extrema importância. Dessa forma, reuniu-se representantes da engenharia, planejamento, compras e responsáveis por etapas executivas da obra.

Em seguida, os pacotes das atividades foram agrupados em diferentes “setores” com intuito de caracterizar os serviços que seriam executados. Tal separação foi realizada visando identificar quais tipos de serviços demandariam mais tempo, recursos e mão de obra, além de facilitar a gestão visual, visto que seriam identificados através de cores diferentes.

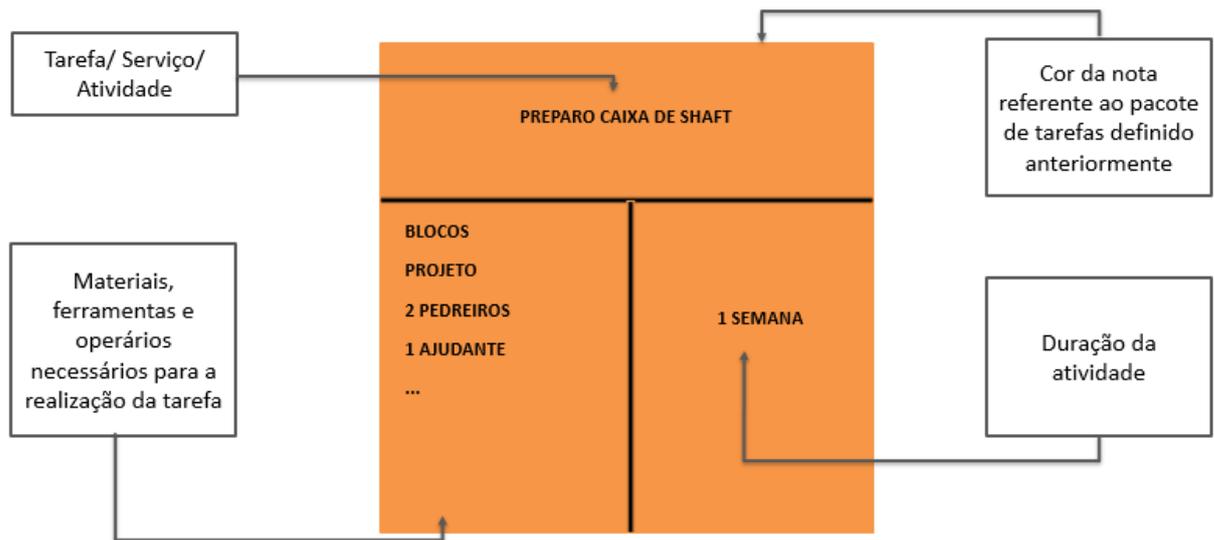
Nesse sentido, para a data marco: concretagem do contrapiso da T1, foram mapeados pacotes com serviços seguindo o agrupamento de:

- **Alvenaria;**
- **Elétrica + Hidráulica:** contemplava atividades de elétrica e hidráulica aterradas que alimentavam o T1;
- **Terraplanagem;**
- **Tubulão;**
- **Concreto:** contemplava as atividades referentes a concretagem, incluindo etapas de armação, forma e desforma;
- **Apoio/Data marco para finalização de uma determinada atividade:** contemplava todas as atividades referentes à terceiros, isto é, aluguel de equipamentos, projetos, laboratórios para testes, fornecedor, etc. Em alguns casos, utilizou-se a cor verde para representar datas marcos atingidas, isto é, finalização de um determinado serviço por completo;

Com tais etapas finalizadas, inicia-se o Planejamento Puxado a partir das atividades predecessoras, isto é, mapeando os serviços com a seguinte questão como guia: “*Para ser possível iniciar a concretagem do contrapiso da T1, qual atividade deve ser finalizada?*”. Por consequência, a resposta para tal pergunta indicava que esse serviço é o serviço predecessor e assim por diante.

Para cada serviço mapeado, utilizou-se notas adesivas para registrar todos os recursos que seriam necessários e a duração de cada atividade, conforme Figura 11.

Figura 11: Exemplo de serviço mapeado



Fonte: Autoria Própria (2022)

Dessa forma, ao término do mapeamento de todos os serviços, restrições e durações, foi possível ter a sequência das atividades e os serviços necessários para o término da concretagem do contrapiso da T1. O esquema realizado na empresa construtora do Planejamento Puxado pode ser conferido na Figura 12.

Figura 12: Planejamento Puxado do Estudo de Caso



Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

Com as durações pré-estabelecidas, foi possível verificar as datas para término dos serviços, e, a partir disso, analisar se o que foi estipulado, atenderia ao esperado para a data marco estimada inicialmente.

No nível de planejamento a médio prazo, utilizou-se a programação semanal levantada a partir do Planejamento Puxado pelo LPS. Assim, a cada semana, extraia-se do Planejamento Puxado o Planejamento Semanal com as atividades detalhadas com intuito de realizar o controle do que seria executado na semana. Dessa forma, os serviços eram listados através de colunas que identificavam o local de execução, família (pacote de serviço) e a atividade. Além disso o quadro contava com um espaço para demarcar o andamento da execução ao longo da semana. Para monitorar tal recurso, utilizava-se a marcação “v” ou o preenchimento na cor verde, caso a execução do serviço tenha seguido conforme o programado e “x” caso o contrário.

O planejamento semanal (Figura 13) ficava exposto no quadro de gestão à vista em local de fácil acesso na obra.

Figura 13: Planejamento Semanal do Estudo de Caso

LOCAL	FAMÍLIA	ATIVIDADE	seg	ter	qua	qui	sex	sab
TORRE 01	CONCRETO + FORMA	Lajão - Aterro	✓					
TORRE 01	CONCRETO + FORMA	Lajão - Lastro de bica corrida + lona	✓					
TORRE 01	ELÉTRICA + HIDRÁULICA	Lajão - Hidráulica + Elétrica	✓	✓	✓	✓	✓	
TORRE 01	CONCRETO + FORMA	Lajão - Gabarito Calçada	✓	✓				
TORRE 01	CONCRETO + FORMA	Lajão - Telas + espaçadores	✓	✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Execução de forma (sapatas/alavancas - BL 80)	✓	✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Armação (sapatas/alavancas - BL 80)			✓			
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Concretagem (sapatas/alavancas - BL 80)				✓		
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Escavação (sapatas/alavancas - 8 unidades)				✓		
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Armação (sapatas/alavancas - 8 unidades)				✓		
EDIFÍCIO GARAGEM - A	CONCRETO + FORMA	Concretagem (sapatas/alavancas - 8 unidades)				✓		
EDIFÍCIO GARAGEM - B	CONCRETO + FORMA	PAV.1 - Engastalho pilares	✓					
EDIFÍCIO GARAGEM - B	CONCRETO + FORMA	PAV.1 - Armação pilares		✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - B	CONCRETO + FORMA	PAV.1 - Forma dos pilares		✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - B	CONCRETO + FORMA	PAV.1 - Montagem Cimbramento		✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - C	CONCRETO + FORMA	SUB1 - Armação da laje	✓	✓				
EDIFÍCIO GARAGEM - C	CONCRETO + FORMA	SUB1 - Concretagem da laje				✓		
EDIFÍCIO GARAGEM - C	CONCRETO + FORMA	SUB1 - Desforma Cortina				✓		
GRUA 1 - T1	MONTAGEM	Montagem GRUA						
Fabrica KIT	ELÉTRICA + HIDRÁULICA + ALVENARIA	Reforma	✓	✓				
FORMA	PRÉ-MONTAGEM	Pré-Montagem	✓	✓				
CENTRAL DE ARMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CANTEIRO	Retirada das peças da grua	✓	✓				
CENTRAL DE ARMAÇÃO	CONSTRUÇÃO CANTEIRO	Regularizar o piso (tira mangueira)			✓			
Segurança do Trabalho	EPCs							

-PAQUÍMETRO

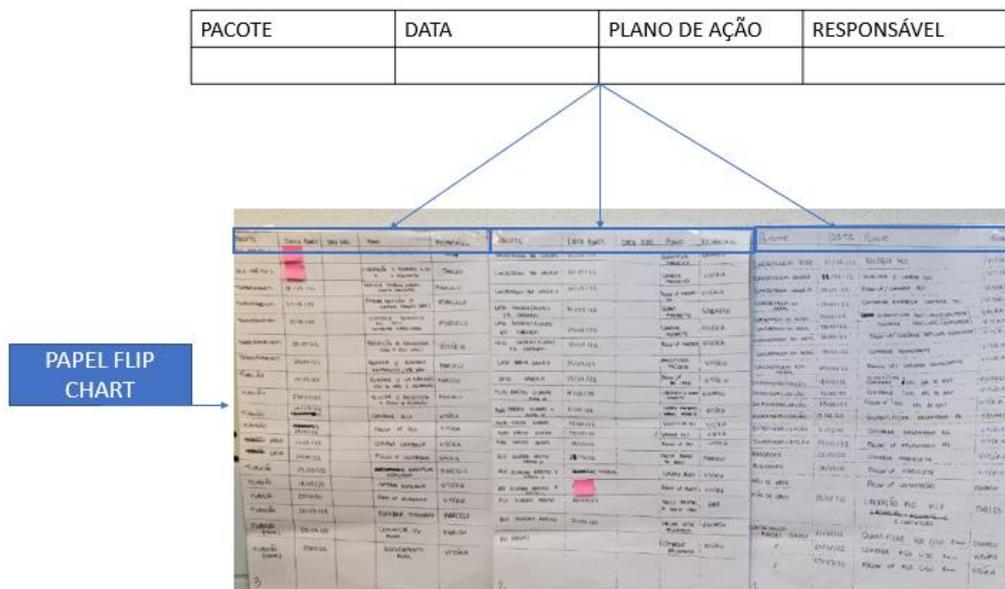
Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

Para execução das atividades mapeadas na programação semanal, o levantamento de todos os recursos necessários e as datas limites de resolução eram definidas. Logo, utilizava-se a ferramenta *Make-Ready Planning*, denominado de Plano Ação pelo Estudo de Caso.

Nesse contexto, para “proteger” a execução dos serviços, tornava-se necessário remover as restrições das atividades. Com isso, ao contrário do planejamento puxado, em que se realiza o mapeamento das atividades de trás para frente, isto é, da última atividade para a primeira, no caso do plano de ação, o mapeamento e resolução das restrições são realizadas a partir do primeiro obstáculo até o último, visando proteger a execução dos serviços mais próximos.

Assim, utilizou-se o Papel de *Flip Chart* para anotar todos os planos de ações para cada restrição mapeada. Logo, se para o serviço “Preparo Caixa de *Shaft*” há o recurso “blocos” e ele se enquadra como restrição, uma vez que não está comprado, realiza-se o mapeamento visando a eliminação de tal impasse. Dessa forma, o make-ready planning sinaliza o pacote, data limite, ação necessária e responsável para a resolução de tal restrição (Figura 14).

Figura 14: Make-ready planning do Estudo de Caso



Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

O plano de ação ficava em local exposto e quando alguma atividade era realizada, riscava-se a ação com uma caneta na cor verde com intuito de sinalizar que aquela restrição havia sido solucionada. Com isso, o plano de ação auxiliava a empresa no entendimento dos prazos, pois, se precisavam de um certo recurso para uma determinada data, pela

experiência dos responsáveis, era possível saber quanto tempo antes seria necessário realizar a solicitação para que o recurso chegasse a tempo.

Dentre alguns dos impactos observados, verifica-se que o plano de ação auxiliou, principalmente, o setor de compras e recursos humanos da empresa. Tal impacto se justifica pois, com o plano de ação, foi possível auxiliar a programação e solicitação dos recursos materiais com antecedência. Além de apoiar a negociação e estudo de mercado visando materiais mais adequados e de preços com maior atratividade. Sobre a mão de obra, o plano de ação auxiliou o dimensionamento de operários para determinados serviços, antecipando a comunicação para o setor de Recursos Humanos da empresa sobre a necessidade de mais contratações.

Nesse contexto, a partir de tal mapeamento, verificou-se que as durações para resolução das restrições e sequenciamento dos serviços não atenderiam ao término estipulado da atividade final, isto é a concretagem do contrapiso da T1.

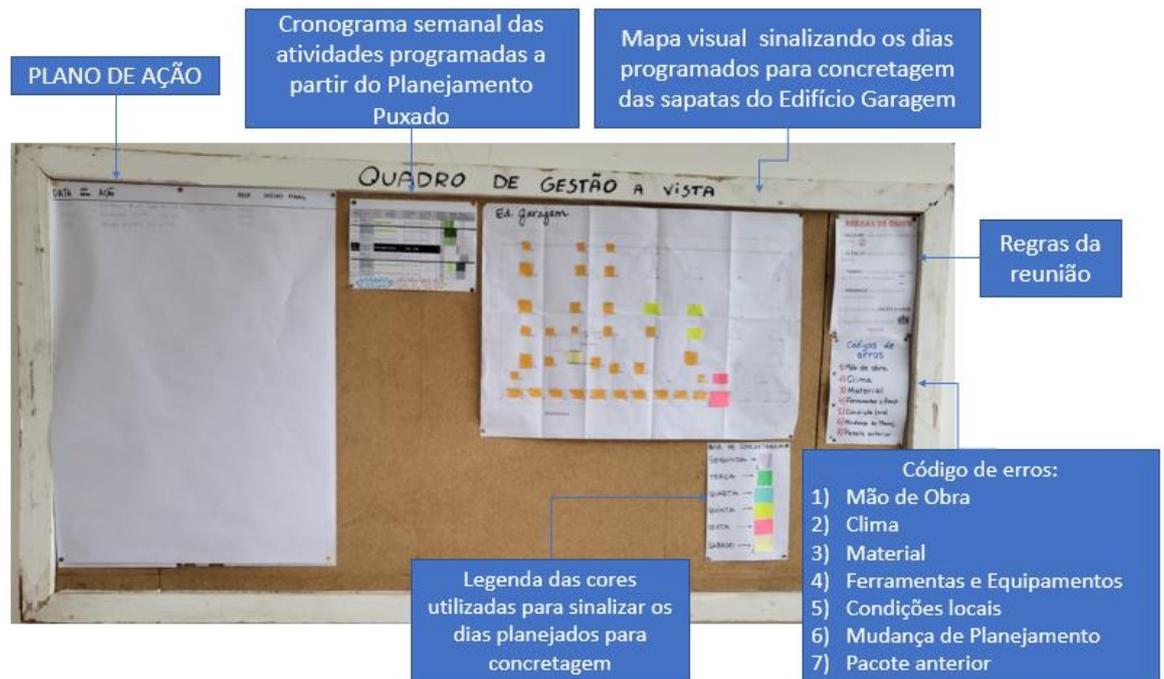
Logo, para que pudesse ser enxugado de forma mais assertiva os prazos estipulados, foi necessário inserir uma maior quantidade de recursos. Dessa forma, se para uma determinada atividade, seriam necessários 2 pedreiros para executar em uma semana, determinou-se quais atividades poderiam ser alocados 4 pedreiros para que o serviço fosse completado em um tempo menor, por exemplo.

Contudo, nem todas as atividades seguiam tal raciocínio, pois, em alguns casos, a duração do serviço se restringia por conta de fatores externos tal como cura do concreto, esperas obrigatórias para retirada da ancoragem ou prazos de terceiros, assim, mesmo que aumentassem os recursos, tais atividades não sofreriam impacto com relação a duração.

Com relação ao acompanhamento dos serviços mapeados, diariamente, realizava-se a reunião diária com o time de campo. Diante disso, foi possível verificar se as datas estipuladas no Planejamento Puxado estavam sendo cumpridas, e, caso não, o líder responsável pela condução da reunião anotava o código do erro, isto é, se a atividade não foi realizada por conta de mão de obra, clima, ferramentas e equipamentos, condições locais, mudança de planejamento ou por conta de pacotes de serviços anteriores.

Para que tais situações fossem acompanhadas por todos, utilizou-se um quadro de gestão à vista contendo as principais informações para a condução das reuniões diárias. O Quadro de Gestão a Vista utilizado no empreendimento pode ser analisado na Figura 15.

Figura 15: Quadro de Gestão a Vista



Fonte: Fornecido pela empresa (2022).

Além disso, verificava-se diariamente a execução das ações derivadas das restrições mapeadas. No caso de não remoção das restrições, ou seja, o plano de ação não foi cumprido, levantava-se qual o impedimento para a execução do plano, e, a partir disso, analisava-se o impacto da continuidade de tais restrições para os serviços de acordo com as datas estipuladas.

Ao longo da implementação das técnicas observou-se que a integração entre representantes de etapas executivas, planejamento e compras foi de suma importância para extrair informações e conhecimentos “não documentados”, isto é, pontos que tais representantes sabiam por experiência, tal como prazos, particularidades executivas e projetuais. Dessa forma, foi possível ter uma maior exatidão de prazos e mapeamento de possíveis empecilhos para a execução de determinadas atividades antes da sua execução. Com as ferramentas utilizadas da metodologia, foi possível aumentar a eficiência das atividades de conversão, uma vez que as informações e materiais percorriam um fluxo menor de decisão, visto que os *decision makers* se reuniam e decidiam as melhores soluções visando o todo da obra, e não apenas a parte específica de sua responsabilidade. Além disso, observa-se que com o plano de ação abordando as restrições das atividades que seriam executadas em um intervalo de tempo menor, evitava-se realizar atividades que não estivessem em uma sequência lógica do radar das restrições, assim, desperdícios de espera e movimentação, por consequência, foram reduzidos.

Como limitação cita-se o fator cultural presente na empresa, pois, a metodologia aborda a importância da participação ativa dos responsáveis por diferentes áreas no planejamento. Contudo, algumas das tomadas de decisões continuavam sendo realizadas no canteiro de obra. Nesse contexto, algumas decisões foram tomadas sem pensar no todo e sem serem devidamente mapeadas por conta disso, visto que para alguns responsáveis dos times de campo, determinadas decisões eram vistas com peso “pequeno” e sem impacto no resultado final, então, na visão deles, não era necessário discutir suas resoluções com antecedência. Contudo tal falta de “transparência” também está desacordo com o que prega a metodologia. Então, cita-se que a fundamentação teórica da metodologia para os colaboradores é de suma importância, e deveria ter sido mais aprofundada no início do projeto para os líderes de campo. Além disso, a falta de ferramentas que apoiem a visualização das etapas e serviços de forma sequenciada dificultava a participação de todos os profissionais, visto que discussões das etapas “puxadas” se baseava na experiência dos envolvidos que já vivenciaram tal tipo de construção.

5.3.2 Pré- Fabricados

Com relação a execução, o empreendimento optou pela realização de KITs pré-fabricados de instalações prediais. Tal decisão, fundamentou-se a partir da observação de que os apartamentos das três torres a serem executados, exceto os apartamentos do térreo e cobertura, possuíam repetitividades em 18 pavimentos.

Para a etapa de concretagem do contrapiso da T1 já seria necessário ter KITs para a instalação da elétrica. Dessa forma, o primeiro KIT precisaria estar pronto na data estipulada no Planejamento Puxado discutido anteriormente.

Logo, o início do desenvolvimento da fábrica de pré-fabricados aconteceu logo após o início da consultoria, seguindo a sequência:

- Definição dos KITs que seriam fabricados;
- Definição do *Layout* da “fábrica”;
- Planejamento e execução das reformas necessárias e demanda das estruturas;
- Definição da documentação de apoio (instruções de montagem e de instalação);
- Definição dos documentos de gestão da fábrica;
- Treinamento do time fábrica e campo; e
- Definição de deadlines para início da operação da fábrica.

Sobre a definição dos KITs que seriam fabricados, foi concluído que toda a parte de instalação que possuía repetitividade, seria produzido em local separado e com linha de

produção própria. Assim, o empreendimento contaria com KITS de instalações hidrossanitários e de eletricidade.

Contudo, inicialmente, o foco da linha de produção da fábrica seriam os KITS aterrados no contrapiso da T1. Logo, as atividades iniciais que envolviam central de KITS possuíam como foco a disciplina de elétrica, visto que as instalações hidrossanitários do pavimento térreo aterradas não possuíam repetitividade, portanto seriam executadas com material a granel no próprio local de instalação.

Dessa forma, com o foco estabelecido nos KITS de eletricidade, foi necessário realizar a definição dos produtos que seriam produzidos. O *Stock Keeping Unit* (SKU), na prática, funciona como um código de identificação atribuído para um determinado produto. Logo, para a completa produção de um KIT de apartamento, seria necessário identificar trechos que poderiam ser separados e produzidos antes da etapa de instalação na torre e, a partir disso, tal separação seria um KIT.

Assim, para tal etapa de separação, a Consultoria contratada revisou alguns dos princípios *Lean Construction* com o time *Lean* da Construtora.

A utilização de elementos pré-fabricados é fundamentada através do princípio da redução de variabilidade. Uma vez que etapas realizadas no local de instalação, passam a ser executadas em fábrica, local em que há um controle de qualidade maior, é possível eliminar incertezas processuais e aumentar o padrão de entrega.

Para isso, foi importante realizar uma análise crítica do projeto de elétrica visando separar SKUs levando em consideração a etapa executiva que aquele KIT seria instalado e local de instalação. Nessa etapa de análise, os responsáveis pela central de KITS recorreram a modelagem de elétrica em BIM para facilitar a visualização do projeto do empreendimento e a separação dos KITS.

Além disso, para a fabricação dos KITS foi necessário elaborar documentação para instrução de montagem e instalação em canteiro. Além de ter o quantitativo exato dos materiais necessários para cada SKU, isto é, o comprimento de eletroduto, cabos, tipo de caixa de passagem e demais informações pertinentes para a montagem do KIT. Ainda, foi utilizado recursos de desenho 2D do AutoCad para representar os cabos condutores de eletricidades alocados dentro do eletroduto. Dessa forma, cada KIT contava com uma folha de instalação de montagem com informações conforme Figura 16.

Nesse sentido, utilizou-se recursos do programa Revit para as etapas de quantitativo e elaboração dos documentos do KIT. Contudo, tal etapa também foi realizada de forma terceirizada pela empresa construtora, assim, o responsável pela modelagem também fornecia a documentação necessária para a montagem dos KITS com o quantitativo, detalhamento, local de instalação no apartamento e demais informações relevantes para a montagem e instalação *in loco* dos KITS pré-fabricados.

implementação de uma estrutura mínima, que compreendia a compra de bancadas de trabalhos, ferramentas e equipamentos, e a realização de reformas básicas tal como instalação de tomadas e pontos de luz. Os prazos estipulados para a reforma foram determinados a partir do Planejamento Puxado. Em que, as etapas da implementação da fábrica foram “puxadas” a partir do planejamento proposto pelo LPS.

Com relação aos documentos de gestão, foi definido pela empresa construtora que seria utilizado os mesmos recursos do Planejamento Puxado, isto é, quadro de gestão à vista com o sequenciamento da produção definido a partir do *takt time*.

A empresa construtora possui como objetivo concretar dois apartamentos por dia, e, evitando estoques desnecessários, visto o objetivo *Lean* do empreendimento, foi definido que a central de pré-fabricados também produziria KITs para dois apartamentos por dia.

Até o presente trabalho não foi possível acompanhar a instalação dos KITs *in loco*, contudo para utilizar o recurso da pré fabricação, foi necessário realizar pedido dos materiais com uma antecedência maior do que o planejado caso a solução utilizada fosse totalmente *in loco*. Tal antecedência dos pedidos com relação a utilizada *in loco* se justifica em função do *takt time* estabelecido de produção para 2 apartamentos por dia, assim, tempo de produção foi separado da etapa de instalação, além de ser necessário “puxar” e iniciar a produção dos KITs com uma maior antecedência quando comparado com a etapa de instalação. Por consequência disso, foi necessário antecipar o estudo das particularidades dos projetos de instalações, o que impactou em análises de soluções alternativas que pudessem agregar valor entre etapas processuais e não apenas no resultado da obra. Como exemplo, é possível citar a mudança do caminhamento do projeto de elétrica, visando eliminar a complexidade de instalação e custos desnecessários. Tal mudança, além de facilitar a posterior etapa de instalação, agregando valor para o instalador responsável pelo serviço, reduziria a quantidade de materiais, impactando no custo.

Como limitação é possível citar a utilização da documentação dos KITs em BIM por terceiros. Tal etapa de documentação, envolve estudos e análises de diferentes profissionais, que visam optar pela melhor solução do KIT no contexto do empreendimento. Nesse sentido, ao longo da separação dos KITs, a consulta com o time de campo foi constante, impactando no quantitativo e documentos para a montagem dos elementos. E, apesar do BIM possuir funcionalidades que apoiam a integração, atualização de documentos e comunicação, tal potencialidade não foi atingida no estudo de caso, visto a dificuldade de atualização dos documentos, uma vez que tais revisões dependiam da agenda de terceiros. Logo, ressalta-se que para atingir uma maior fluidez na atualização dos documentos, seria importante estabelecer um fluxo de comunicação constante com o responsável contratado para a modelagem e com os projetistas, visando estabelecer um

canal integrado de comunicação e atingir as soluções mais adequadas no que diz respeito aos processos da fábrica, projeto e posterior instalação *in loco*.

6. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO ESTUDO DE CASO

A partir da síntese dos resultados extraídos na RSL e da análise dos sistemas utilizados no Estudo de Caso, o presente tópico realiza uma proposta de uso da plataforma BIM como intensificador dos princípios *Lean Construction*.

Ao analisar a RSL, observa-se que dentre os 30 artigos incluídos, 12 abordam o BIM como facilitador de ferramentas LPS. Tal questão se justifica em função da importância das funcionalidades de visualização, precisão das informações agregadas em modelos paramétricos, produção coordenada, facilitação do mapeamento de tarefas, comunicação, integração, auxílio de atualizações e simulação 4D na condução do sistema *Last Planner* (SCHIMANSKI *et al.*, 2020; WEN, 2014; OSORIO-GOMEZ *et al.*, 2020; MAHALINGAM *et al.*, 2015; PRATAMA; DOSSICK, 2020; BAYHAN *et al.*, 2021; HEIGERMOSER *et al.*, 2019; DAVE *et al.*, 2013; GOYAL; GAO, 2018).

Dessa forma, tendo em vista que a modelagem BIM já é realizada pela empresa construtora visando extrair quantitativos, observa-se que os modelos BIM podem auxiliar a condução do LPS principalmente no que diz respeito a visualização do processo como um todo, uma vez que, a partir da integração dos envolvidos na etapa do planejamento e o modelo BIM disponível com o nível informacional adequado, é possível identificar atividades agregadas em um determinado elemento com uma maior facilidade. Além disso, a visualização do projeto como um integrado auxilia no entendimento e buscas das metas planejadas, situação que pode ser facilitada a partir das funcionalidades de visualizações paramétricas.

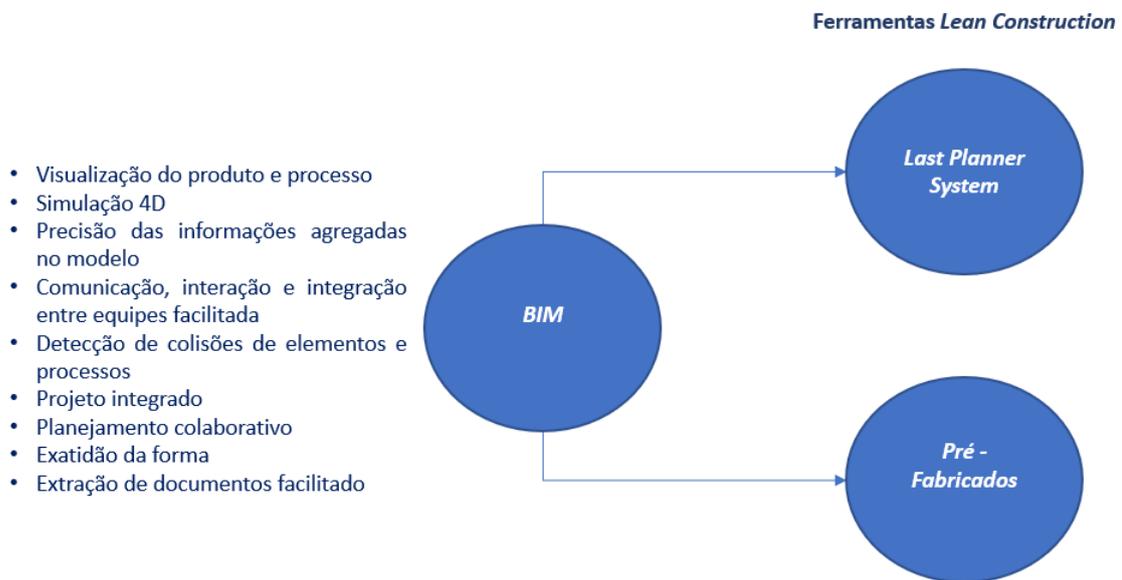
Portanto, observa-se que a utilização da visualização auxilia o avanço nas etapas de planejamento e controle de produção de acordo com o *Lean Construction*. Contudo, quando o controle de produção é colocado no centro da sinergia BIM-LEAN as vantagens podem ser ainda maiores, visto que modelos podem auxiliar a visualização do fluxo de trabalho e processos (BAYHAN *et al.*, 2021).

A coordenação baseada em modelos entre disciplinas e a verificação automatizada também possui grandes benefícios com potencial de serem aplicados no LPS. Assim um suporte tecnológico que auxilie a digitalização do *Pull Planning*, informando restrições não resolvidas e impossibilidades de realização de determinadas tarefas contribuem nas etapas de controle de produção (GUERRIERO *et al.*, 2018).

Com relação a utilização de pré-fabricados, os autores Gerber *et al.* (2010), Liu; Shi (2017), Eldeep *et al.* (2022), Goyal; Gao (2018) e Watkins; Sunjka (2020) citam a pré fabricação como uma atividade a ser facilitada com o uso do BIM visando atingir princípios de eliminação de desperdícios. Nesse sentido, os autores Goyal; Gao (2018) estabelecem uma estrutura que integra o LPS, BIM e a pré fabricação. Uma vez que a pré fabricação permite a montagem de componentes em locais diferentes do local de instalação, cria-se o sistema de “puxar”, método alinhado aos princípios *Lean*.

Em síntese, a plataforma BIM pode apoiar o sistema *Last Planner* e a Pré-fabricação conforme esquematizado na Figura 17.

Figura 17: Esquemática relação BIM-Lean



Fonte: Autoria própria (2022).

Como o Estudo de Caso já utiliza a modelagem BIM no empreendimento, há uma certa familiaridade com a plataforma, o que pode ser um incentivo para novas abordagens com a metodologia em conjunto com a implementação do *Lean* no empreendimento. Dessa forma, tendo em vista que a dificuldade de visualizar o processo foi levantado no estudo de caso, utilizar funcionalidades do BIM 4D com o LPS sanaria pontos de falta de integração entre os envolvidos. Logo, a visualização da modelagem em si ao longo da condução do Planejamento Puxado já resultaria em benefícios no LPS. Mas, vincular tal modelagem com tempo, utilizando funcionalidades 4D, é possível detectar colisões de planejamento. Por exemplo, caso algum serviço precise ser executado antes de outro por conta de fluxo de passagem, a simulação 4D irá identificar tais erros. Dito isso, o *Make-ready planning* terá foco na resolução de itens que realmente agregam valor a execução do empreendimento, levando em consideração que foram mapeados a partir de uma sequência de produção lógica e coerente com as etapas de planejamento.

A integração das informações nos modelos também pode ser melhor explorada pela empresa construtora. Atualmente, a modelagem é realizada por terceiros, que possuem seus próprios bancos de famílias, *templates*, *plugins* e demais elementos para compor a modelagem do projeto. Apesar de tal terceiro utilizar as especificações de projeto da empresa, algumas particularidades podem ser desconsideradas ou tratadas de forma genérica no modelo, minimizando o impacto das informações agregadas na modelagem BIM. Nesse sentido, seria interessante que a empresa optasse por um banco interno de famílias, *template* e demais ferramentas, visto que a mesma pretende dar continuidade da implementação do *Lean Construction* em outros empreendimentos.

O BIM pode colaborar com a integração da equipe para coordenar e facilitar a comunicação. Logo, conceitos de projeto e planejamento integrado através do uso do BIM também não foram atingidos pela empresa construtora. Nesse sentido, trabalhar a fundamentação teórica da equipe sobre a potencialidade do BIM é de suma importância, visto que grande parte dos responsáveis do time da engenharia desconhecem a potencialidade da plataforma para condução de etapas de planejamento e como canal integrado de comunicação.

Com relação a pré-fabricação, o BIM apoia as especificações do produto e aspectos do processo. Para os elementos que serão enviados para o canteiro de obras já processados, utilizar recursos de visualização proveniente da modelagem 3D auxilia a montagem do KIT, diminuindo desperdícios por inspeção e espera.

Além disso, a visualização do processo a partir da vinculação dos KITS com o planejamento apoia a precisão do planejamento. Ao vincular os KITS com etapas de concretagem, é possível analisar possíveis incompatibilidades de planejamento. Como por exemplo, fluxo de movimentação para a instalação dos KITS e fechamento das formas da parede de concreto em locais próximos. Com isso, o ritmo de produção torna-se mais exato, impactando no fluxo de pedidos dos materiais e no fluxo de caixa da empresa.

A modelagem paramétrica também fornece exatidão do elemento pré-fabricado, o que proporciona redução de ajustes *in loco*. E, a partir do modelo, é possível obter documentação facilitada. Apesar da funcionalidade exatidão da forma ser utilizada através do modelo BIM, o fluxo de comunicação com o responsável por tal trabalho dificulta a tomada de decisão e revisões. Nesse contexto, a documentação automatizada não foi atingida por completo pelo estudo de caso. Para tal, recomenda-se estabelecer um canal integrado de comunicação com projetistas e responsáveis pela modelagem para que seja possível realizar revisões e posterior extração de documentos de forma mais fluída.

Nesse contexto, as principais funcionalidades a serem aplicadas e as estratégias objetivas podem ser analisadas sistematicamente através do Quadro 10:

Quadro 10 – Estratégias *Lean* x Funcionalidades BIM

	Estratégia	Apoiar a tomada de decisão	Auxiliar o sequenciamento das atividades	Visualizar o fluxo de movimentação dos processos de construção	Simular alternativas de processos	Auxiliar a consulta de informações	Facilitar a montagem de elementos pré fabricados	Mapear o sequenciamento da produção e logística dos elementos pré fabricados	Identificar conflitos entre elementos	Identificar conflitos de processos
Funcionalidade BIM										
Visualização do produto e processo										
Simulação 4D										
Precisão das informações agregadas no modelo										
Comunicação, interação e integração entre equipes										
Detecção de colisões de elementos e processos										
Projeto integrado										
Planejamento colaborativo										
Exatidão da forma										
Extração de documentos facilitada										

Fonte: Autoria própria (2022)

Nesse sentido, as células na cor verde representam interações benéficas entre as estratégias objetivadas e as funcionalidades BIM levantadas na RSL. Tais interações são melhor detalhadas a seguir:

- **Visualização do produto e processo:** A partir da modelagem paramétrica, a funcionalidade de visualização pode ser aplicada não só para a visualização dos elementos construtivos, mas também para fluxo de processos e movimentações. No caso da condução do LPS, é possível apoiar a tomada de decisão ao longo da condução da ferramenta, aumentando a precisão das decisões e sequenciamento de atividades, visto que poderão ser tomadas a partir de um modelo paramétrico e informacional modelado de acordo com a realidade do empreendimento. Com relação a pré-fabricação, tal funcionalidade permite analisar o fluxo do processo de instalação no canteiro com outras etapas que podem estar sendo executadas simultaneamente, evitando desperdícios de espera e movimentações desnecessárias.

- **Simulação 4D:** Funcionalidade que permite agregar tempo a elementos no modelo paramétrico, assim, conflitos poderão ser analisados de acordo com o tempo de entrada no canteiro de obra e execução, permitindo análises mais precisas e apoio a tomada de decisão para o sequenciamento de atividade.

- **Precisão das informações agregadas no modelo:** O fluxo de consultas ao longo da implementação do LPS pode ser facilitado, visto que, em um único modelo, é possível agregar diferentes informações e especificações de materiais (modeladas conforme projeto). A partir disso, etapas para a resolução do plano de ação também podem ser simplificadas, visto que para modelar em BIM, dúvidas projetuais e especificações já devem ter sido conduzidas e sanadas para finalização do modelo. Com isso, as remoções das restrições mapeadas podem focar em etapas de execução, reduzindo o fluxo administrativo de tomadas de decisões projetuais que já poderiam ter sido sanadas anteriormente. Para a etapa de pré-fabricação, tal funcionalidade apoia a montagem, sequenciamento e análise de incompatibilidades dos elementos.

- **Comunicação, interação e integração entre equipes:** O modelo paramétrico permite a agregação de informações de status do processo alinhada a conceitos de gestão visual. Dessa forma, os modelos podem ter informações que representam o andamento de atividades de acordo com o programado pelo Planejamento Puxado e Programação Semanal, facilitando a comunicação sobre o andamento dos serviços e entendimento da construção como um todo. Além de auxiliar a checagem de incompatibilidades entre elementos e processos visto a integração de diferentes atividades.

- **Detecção de colisões de elementos e processo:** Funcionalidade ligada ao *Clash Detection*. Como comentado anteriormente, agregar informações que representam formas e elementos no tempo impacta em redução de incompatibilidades de sequenciamento das tarefas e serviços. Com isso, em função da modelagem paramétrica agregar informações que definem a geometria do modelo, incompatibilidades de materiais são identificadas na etapa de modelagem, auxiliando a tomada de decisão e resolução de problemas antes da etapa de execução.

- **Projeto integrado:** Conceito ligado a interoperabilidade dos programas BIM, visto que modelos podem ser coordenados por diferentes usuários. Então, informações de diferentes disciplinas, podem ser “traduzidas” e integradas em um único canal, facilitando consultas de informações, revisões e compatibilidade entre disciplinas, auxiliando a condução do LPS e pré-fabricação.

- **Planejamento colaborativo:** Os níveis de planejamento do LPS estabelecem o planejamento colaborativo, uma vez que envolvem representantes de etapas de compras, execução, planejamento e demais *decision makers* de diferentes setores. Em função do canal integrado proporcionado pelo modelo BIM, decisões podem ser tomadas com maior fundamentação de visualização ou simulação, proporcionando que o sequenciamento de atividades siga a solução mais coerente de acordo com o todo do projeto e levando em conta questões de diferentes setores. Além de que, modelos BIM podem auxiliar a coordenação dos elementos pré-fabricados em etapas de produção. Deste modo, agregando informações de tempo no modelo, é possível visualizar a produção seguindo uma sequência lógica para o abastecimento do empreendimento, facilitando a coordenação dos KITS em produção, já produzidos (estoque) e em processo de instalação.

- **Exatidão da forma:** Modelos paramétricos se baseiam em informações reais de fornecedores, projetos e demais especificações relevantes. Assim, usuários agregam informações que definem a geometria do modelo, aumentando a exatidão dos elementos e reduzindo a chance de incompatibilidade entre objetos. Além de facilitar a consulta de informações, impactando na tomada de decisão, visualização do processo e na montagem dos elementos pré-fabricados.

- **Extração de documentos facilitada:** Para definir a geometria de um determinado objeto em modelos paramétricos, utiliza-se parâmetros importantes para a formação da forma do elemento. Logo, levando em consideração os KITS, parâmetros do modelo irão compor informações necessárias para a produção e montagem do elemento pré-fabricado. Dessa forma, tais informações serão traduzidas para documentos de montagem e instalação dos elementos *in loco*. Como tal etapa é antecipada ao longo da modelagem, a extração da documentação é facilitada, visto que as informações que formam a geometria do elemento serão as informações necessárias para a montagem do mesmo.

Por consequência, visando atingir tais estratégias a partir da catalisação dos princípios *Lean* através do BIM, formulou-se a proposta sistematizada no Quadro 11, que foi estruturado em situação atual, dificuldades observadas, contexto principal, usuários, proposta (curto, médio e longo prazo) e LOD sugerido para as futuras modelagens paramétricas em BIM da empresa construtora.

Quadro 11 – Proposta de Implementação da Metodologia BIM no Estudo de Caso

Situação atual	Dificuldades observadas	Contexto Principal	Usuários	Proposta			LOD sugerido
				Curto prazo	Médio prazo	Longo prazo	
Sequenciamento dos serviços e programação realizada a partir da experiência do time de campo.	Dificuldade em visualizar o empreendimento como um todo.	Auxiliar a condução do <i>Pull Planning</i> e Planejamento.	Participantes do <i>Pull Planning</i> e Planejamento Semanal.	1) Treinamento da fundamentação BIM para a Equipe de Engenharia, abordando os principais conceitos e potencialidades da plataforma;	1) Treinamento do programa Revit para a equipe BIM visando facilitar atualizações do modelo;	1) Equipe BIM responsável pela modelagem e atualização do modelo do empreendimento;	LOD350
	Omissão de serviços importantes para a condução da produção.						
Tomada de decisões baseada na experiência do time de campo.	Consultas realizadas em diferentes documentos.	Auxiliar a condução do <i>Pull Planning</i> e Planejamento.	Participantes do <i>Pull Planning</i> e Planejamento Semanal.	2) Iniciar formação de equipe BIM responsável pela implementação da metodologia no empreendimento;	2) Iniciar mapeamento dos recursos necessários para equipe BIM começar a realizar a manutenção dos modelos internamente;	2) Iniciar o estudo para criação de <i>templates</i> e bibliotecas virtuais com os dados necessários para a documentação de montagem dos KITS e demais extrações requeridas do modelo;	
		Apoiar a reunião diária para eventuais consultas.	Representante do time de Engenharia líder na reunião diária.				
	Dúvidas e falta de especificações projetuais identificadas em etapas decisivas.	Auxiliar a condução do <i>Pull Planning</i> e Planejamento.	Participantes do <i>Pull Planning</i> e Planejamento Semanal.	3) Solicitar modelo exportado em Navisworks para auxiliar a visualização virtual do empreendimento;	3) Criação de manuais e diretrizes internos para a apoiar a utilização dos modelos no contexto do empreendimento.	3) Criação de biblioteca virtual com dados informacionais de produção que envolvam características de forma, tempo, setor, especificação de material e demais informações que apoiem o uso do BIM para condução de processos seguindo o LPS.	
Quantitativo, Detecção de incompatibilidades projetuais e caderno de montagem dos KITS realizado por terceiro.	Exatidão da forma dos elementos pré-fabricados comprometida em função da falta de atualização do modelo BIM.	Facilitar a elaboração de especificações para a montagem e instalação dos elementos pré-fabricados.	Representante do time de Engenharia responsável pela montagem dos elementos pré-fabricados.	4) Treinamento da equipe de Engenharia para utilizar o programa Navisworks.			

Fonte: Autoria própria (2022)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho estudou o potencial da metodologia BIM para impulsionar o *Lean Construction* em um estudo de caso na cidade de Campinas – SP.

O Estudo de Caso em questão, apesar de usar modelos BIM para extração de quantitativo, identificação de incompatibilidades entre disciplinas e caderno de instrução para montagem de elementos pré-fabricados, não usufrui de várias das funcionalidades que poderiam auxiliar etapas de implementação *Lean*. Através da RSL analisou-se a relação do BIM como ferramenta impulsionadora do *Last Planner System*, o qual foi implementado pelo estudo de caso através do Planejamento Puxado, Planejamento Semanal e Make-ready planning; e para o uso de elementos pré-fabricados.

A RSL sinalizou sinergia considerável entre o LPS e o BIM. Nesse sentido, com relação ao LPS, observa-se que recursos de modelagem paramétrica podem auxiliar a visualização dos produtos e processos ao longo da concepção do empreendimento, apoiando a condução e sequenciamento das atividades de forma mais precisa e a tomada de decisão.

Portanto, funcionalidades que abordam a geometria dos elementos construtivos no tempo podem proporcionar visão integrada do projeto como um todo, auxiliando a identificação de restrições e serviços necessários para que as atividades passem do Planejamento Puxado para o Planejamento Semanal com uma maior assertividade. Tal funcionalidade se justifica, principalmente, em função das propriedades paramétricas presente em modelos BIM que utilizam dados informacionais para construir a geometria do modelo, facilitando etapas de consultas, revisões, checagens e demais níveis de detalhes que auxiliam a condução do LPS.

A pré fabricação é fundamentada através dos princípios *Lean* de redução da variabilidade, redução de desperdícios e padronização, sendo uma ferramenta com potencial de ser automatizada através da plataforma BIM. Tendo em vista a abordagem *Lean* do empreendimento, a atualização de documentos de montagem dos KITs torna-se constante, o que demanda uma maior integração entre os responsáveis pela modelagem e o time de campo.

Nesse contexto, ressalta-se que para a implementação prática e uso dos modelos BIM em empreendimento, a realização de treinamentos abordando a fundamentação teórica da plataforma é de extrema importância. A partir de tais treinamentos, a empresa construtora poderá compreender com uma maior clareza como a plataforma pode apoiar

etapas no planejamento enxuto e na pré-fabricação do empreendimento, reduzindo fluxos administrativos e aumentando a integração do produto e processo ao longo da concepção de uma edificação.

Por fim, cita-se a importância de mais estudos abordando a interação BIM-*Lean* em etapas de construção, além da validação das conclusões propostas através de estudos de caso e aplicações com *stakeholders*.

Referências Bibliográficas

AIA (THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS). Guide, Instructions and Commentary to the 2013. **AIA Digital Practice Documents**. AIA, USA. 2013. Disponível em: . Acesso em: 28 jun. 2022.

ALARCÓN, L., MANDUJANO R., MOURGUES, C. Analysis of the implementation of VDC from a lean perspective: Literature review. In: Formoso, CT & Tzortzopoulos, P., **21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. Fortaleza, Brazil. 2013.

ANDÚJAR-MONTOYA, M. D., GALIANI-GARRIGÓS, A., RIZO-MAESTRE, C., & ECHARRI-IRIBARREN, V. Bim and lean construction interactions: A state-of-the-art review. **WIT Transactions on the Built Environment**, v. 192, p. 1-13, 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). **Portal da Legislação Governo Federal**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 22 setembro, 2021.

BAYHAN, H. G., DEMIRKESEN, S., ZHANG, C., & TEZEL, A. A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. **Production Planning & Control**, p. 1-28, 2021.

BALLARD, H.G. The last planner system of Production control. A thesis submitted to the faculty of engineering of The University of Birmingham for degree of Doctor of Philosophy. **School of civil engineering**. University of Birmingham, UK, 2000.

BALLARD, G., HOWELL, G. Implementing lean construction: stabilizing work flow. **Lean construction**, v. 2, p. 105-114, 1994.

BAYHAN, H. G., DEMIRKESEN, S., ZHANG C., & TEZEL, A. A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. **Production Planning & Control**, p. 1-28, 2021.

BORJEGHALEH, R. M., SARDROUD, J. M. Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 534-541, 2016.

CLEMENTE, J. M. D. Sinergias BIM-Lean na redução dos tempos de interrupção de

exploração em obras de manutenção de infraestruturas de elevada utilização – um caso de estudo. **Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa**, 143, 2012.

CLEMENTE, J., CACHADINHA, N. Bim-Lean synergies in the management on mep works in public facilities of intensive use—A case study. **IGLC 21**, p. 751-759, 2013.

DARABSEH, M. Lean applications in construction: Review article. **U. Porto Journal of Engineering**, 5(2), 29–37, 2019.

DAROS, S. G. Compatibilização de projetos utilizando filosofia lean aliada a tecnologia BIM. **Tese de conclusão de curso de Engenharia de Produção Civil** – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis – Santa Catarina, 2017.

DAVE, B., BODDY, S., KOSKELA, L. Challenges and opportunities in implementing lean and BIM on an infrastructure project. In: **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. 2013.

DAVE, B., KUBLER, S., PIKAS, E., HOLMSTROM, J., SINGH, V., FRAMLING, K., & KOSKELA, L. Intelligent products: shifting the production control logic in construction (with Lean and BIM). **Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 July 2015**. International Group for Lean Construction, 2015.

DE-LA-TORRE-URGATE-GUANILO, M. C., TAKANACHI, R. F., BERTOLOZZI, M. R. Revisão Sistemática: Noções gerais. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, V. 45, n. 5, p 1260-1266, 2011.

DENYER, D. & TRANFIELD, D. Producing a systematic review. In: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (Ed.). **The SAGE handbook of organizational research methods**. Los Angeles; London: SAGE, 2009.

EASTMAN, C. M., EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., & LISTON, K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. **John Wiley & Sons**. 2a ed. New Jersey, 2011.

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

EVANS, M., FARELL, P., ZEWEIN, W., & MASHALI, A. Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2021.

FORMOSO, C. T. Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos. **Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS**, 2005.

GARRIDO, M. C. Análise da aplicação de modelagem da informação da construção no planejamento e controle da produção em canteiros de obra apoiando aos princípios da construção enxuta. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)** – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, UFPR, Curitiba – Paraná, 2015.

GERBER, D. J., BECERIK-GERBER, B., & KUNZ, A.. Building information modeling and lean construction: Technology, methodology and advances from practice. In: Proc. **18th Int'l Group for Lean Const**, 2010.

GOYAL, M., GAO, Z. Integration of building information modeling (BIM) and prefabrication for lean construction. In: **ICCREM 2018: Innovative Technology and Intelligent Construction**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2018.

GUERREIRO, A., KUBICKI, S., BERROIR, F., & LEMAIRE, C. . BIM-enhanced collaborative smart technologies for LEAN construction processes. **2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, 2017.

GRAY, C., AND HUGHES, W. Building Design Management. University of Reading, UK: **Butterworth Heinemann**, 2001.

HARDIN, B.; MCCOOL, D. BIM and Construction Management: proven tools, methods, and workflows. **2. ed. Indianapolis: Wiley**, 2015.

HAMDI, O., LEITE, F. BIM and Lean interactions from the bim capability maturity model perspective: A case study. In: **IGLC 2012-20th Conference of the International Group for Lean Construction**, The International Group for Lean Construction, 2012.

HEIGERMOSER, D., DE 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**, v. 104, p. 246-254, 2019

HERRERA, R. F., MOURGUES, C., ALARCÓN, L. F., & PELLICER, E. Analyzing the Association between Lean Design Management Practices and BIM Uses in the Design of Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management-ASCE**, 2021.

HINES, P. & TAYLOR, D. Going Lean. **Lean Enterprise Research Centre Cardiff Business School**, Cardiff, UK, 2000.

HORMAN, M. J., KENLEY, R. Quantifying levels of wasted time in construction with meta-analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, 2005.

ISEPON, T. R. Análise de compatibilização de projetos em um edifício residencial e comercial e o estudo da viabilidade do uso da metodologia BIM. **Tese de conclusão de curso em Engenharia Civil** – Centro universitário de Maringá, UniCesumar, Maringá – Paraná, 2017.

ISIKDAG, U. Design patterns for BIM-based service-oriented architectures. **Automation in Construction**, Volume 25, August 2012, Pages 59-71, 2012.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. **Automation in Construction**, 2009.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. Finlândia: Technical Report, 1992.

KOSKELA, L. Making-Do — the Eighth Category of Waste. In: **12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, Helsingor, Denmark, 2004.

LEKAN, A., OLUCHI, E., FAITH, O., OPEYEMI, J., ADEDEJI, A., & RAPAHEL, O. Creating sustainable construction: Building informatics modelling and lean construction approach. **Journal of Theoretical & Applied Information Technology**, 2018.

LIU, J., SHI, G. Quality control of a complex lean construction project based on KanBIM technology. **EURASIA Journal of mathematics, science and technology education**, v. 13, n. 8, p. 5905-5919, 2017.

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**, v. 141, n. 7, p. 05015006, 2015.

MARQUES NETO, J. C. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil. São Carlos: **Rima**, 162p. 2005.

MELLADO, F., & LOU, E. C. W. Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry. **Sustainable Cities and Society**, 2020.

MIGUEL, P. A. C. Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2.a ed. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 260p. 2012.

MOLLASALEHI, S., FLEMING, A., TALEBI, S., & Underwood, J. Development of an experimental waste framework based on BIM/Lean concept in construction design. **24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 2016.

MOUM, A. Design team stories: Exploring interdisciplinary use of 3D object models in practice. **Elsevier**, v.19, p.554-569, 2010.

MORANDI, M.I. W. M. e CAMARGO, L. F. R. Design Science Research: método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: **Bookman**, 2015

MICHALSKI, A., GŁODZIŃSKI, E., BÖDE, K. Lean construction management techniques and BIM technology–systematic literature review. **Procedia Computer Science**, v. 196, p. 1036-1043, 2022.

NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção. São Paulo: **Oficina de Textos**, 175p. 2014.

NBIMS, National Institute of Building Sciences. National Building Information Modeling Standard. **Online.** Disponível em: <https://buildinginformationmanagement.files.wordpress.com/2011/06/nbimsv1_p1.pdf>. Acesso em: 20 setembro. 2021.

OHNO, T. O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala. 5. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 1997. 149 p.

OLIVEIRA, E. Lean Construction: O princípio do TAKT. Mogi das Cruzes – SP, 2018.

OSORIO GÓMEZ, C. C., & MORENO FALLA, M. J. Lean Construction & BIM in the Value Chain of a Construction Company: **A case study**, 2019.

OSKOUIE, P., GERBER, D. J., ALVES, T., & BECERIK-GERBER, B.. Extending the interaction of building information modeling and lean construction. In: **IGLC 2012-20th Conference of the International Group for Lean Construction, The International Group for Lean Construction**, 2012.

OZTURK, G. B. A measurement instrument for the technology extent and process efficiency in bim enabled construction projects, 2019.

PRATAMA, L. A., DOSSICK, C. S. A Critical Review of Visual Aid Implementation in Lean Construction Scheduling Process. In: **Construction Research Congress 2020: Project Management and Controls, Materials, and Contracts**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020.

REINBOLD, A., SEPPÄNEN, O., PELTOKORPI, A., SINGH, V. AND DROR, E. Integrating Indoor Positioning System and BIM to Improve Situational Awareness. In: **Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)**, Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, 2019.

SACKS, R., DAVE, B. A., KOSKELA, L., & OWEN, R. . Analysis framework for the interaction between lean construction and Building Information Modelling. **Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 2009.

SACKS, R., KOSKELA, L., DAVE, B. A., OWEN, R. The interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, 2019.

SACKS, R., RADOSAVLJEVIC, M., BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in construction**, v. 19, n. 5, p. 641-655, 2010.

SAIEG, P., SOTELINO, E. D., NASCIMENTO, D., & CAIADO, R. G. G.. Interactions of building information modeling, lean and sustainability on the architectural, engineering and construction industry: a systematic review. **Journal of cleaner production**, v. 174, p. 788-806, 2018.

SAJEDEH, M., FLEMING, A., TALEBI, S., & UNDERWOOD, J. Development of an experimental waste framework based on BIM/lean concept in construction design, 2016.

SANTOS, A. Compatibilizar projetos reduz custo da obra em até 10%. **Online**. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/compatibilizar-projetos-reduz-custo-da-obra-em-ate-10/>>. Acesso em: 20 setembro. 2021.

SCHIMANSKI, C. P., MARCHER, C., PASETTI MONIZZA, G., & MATT, D. T. The Last Planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration. **Applied Sciences**, v. 10, n. 3, p. 821, 2020

SILVA, D., JESUS, K. L. D., VILLAVERDE, B., ENCISO, A. I., MECIJA, A. N., & MENDOZA, J. O. Interdisciplinary Framework: A Building Information Modeling Using Structural Equation Analysis in Lean Construction Project Management. **Modern Management Based on Big Data II and Machine Learning and Intelligent Systems III: Proceedings of MMBD 2021 and MLIS 2021**, v. 341, p. 234, 2021

SINGHAL, N., AHUJA, R. Can BIM furnish lean benefits: An Indian case study. 2018.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, n. 109, p. 9-25, 2005.

WATKINS, J.; SUNJKA, B. P. Combining green building and lean construction to achieve more sustainable development in South Africa. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 31, n. 3, p. 133-143, 2020.

WEN, Y. Research on cost control of construction project based on the theory of lean construction and BIM: case study. **The Open Construction & Building Technology Journal**, v. 8, n. 1, 2014.

WOMACK, J. P., JONES, D. T., ROSS, D. **Lean thinking: Banish waste and create wealth in your organisation**. New York: Simon and Schuster. 1996. 350 p

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**, v. 18, n. 4, p. 293-300, 2018.