



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL

CARLOS EDUARDO ARRUDA DOS SANTOS

INTEGRAÇÃO BIM NA GESTÃO DE FLUXOS E ESPAÇOS:
Planejamento dinâmico de canteiros de obra em Fortaleza

Fortaleza

2025

CARLOS EDUARDO ARRUDA DOS SANTOS

**INTEGRAÇÃO BIM NA GESTÃO DE FLUXOS E ESPAÇOS:
Planejamento dinâmico de canteiros de obra em Fortaleza**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar

Fortaleza

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S234i Santos, Carlos Eduardo Arruda dos.
Integração BIM na gestão de fluxos e espaços : planejamento dinâmico de canteiros de obra em Fortaleza / Carlos Eduardo Arruda dos Santos. – 2026.
92 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2026.
Orientação: Profa. Dra. Cely Martins Santos de Alencar.

1. Layout de canteiro de obra. 2. Metodologia BIM. 3. Otimização espacial e logística. 4. Planejamento. I. Título.

CDD 620

CARLOS EDUARDO ARRUDA DOS SANTOS

INTEGRAÇÃO BIM NA GESTÃO DE FLUXOS E ESPAÇOS: PLANEJAMENTO
DINÂMICO DE CANTEIROS DE OBRA EM FORTALEZA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 16/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Cely Martins Santos de Alencar (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luís Felipe Cândido
Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus Crateús

MSC. Eng. Luciano Hamed Chaves Haidar Sousa
Hamed Engenharia

A Deus, meu guia e protetor, por ser o alicerce de toda esta jornada.

Aos meus pais, Ednardo e Zélia, por todo o amor, apoio e dedicação.

A minha família, pelo suporte, amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer, sobretudo, a Deus, autor e consumidor da minha vida, por sempre estar comigo em todos os momentos, dando-me força, coragem e conhecimento para enfrentar e superar todos os desafios durante essa jornada acadêmica e permitir a realização deste grande sonho.

Agradeço à minha mãe, Maria Zélia, por ser meu porto seguro e exemplo de força e dedicação. Por todos os instantes que segurou em minha mão e disse que tudo ficaria bem. Sou extremamente grato por todo amor incondicional e pela confiança que sempre depositou em mim e nos meus sonhos e, principalmente, por cada oração que me trouxe até aqui.

Agradeço ao meu pai, Ednardo, cujos ensinamentos e exemplo de vida continuam vivos em mim. Embora o senhor não esteja mais aqui fisicamente para celebrar este momento, sua memória foi um combustível que me impulsionou a nunca desistir. Obrigado por cada risada, aprendizado e por demonstrar um dos amores mais sinceros que existe. O senhor e minha mãe são os grandes responsáveis por essa conquista, fruto do reflexo dos valores que sempre me ensinaram. Espero que esse diploma seja apenas um dos primeiros passos para retribuir todo amor, dedicação e cada renúncia que fizeram por mim.

Aos meus irmãos, Elizabeth e Cícero, pelo companheirismo constante, por sempre cuidarem de mim mesmo distantes, pelo incentivo silencioso e por serem amigos com quem sempre pude contar, não somente durante a graduação, mas para toda a vida.

Às minhas tias, Edvania, Fátima e Alexandra, pelo papel essencial que desempenharam na minha vida. Mais do que tias, foram mães que cuidaram, amaram e acreditaram no meu potencial. Obrigado por me acolherem sempre como a um filho.

À minha prima Desireé, pela parceria e amizade em todas as horas. Agradeço por estar ao meu lado nos momentos de descontração e, principalmente, nos de maior pressão.

Aos meus amigos de jornada acadêmica e cúmplices em cada projeto, Letícia, Darlan e Juliana, meu “quarteto fantástico”. Agradeço pelo companheirismo durante as noites em claro estudando e pela troca constante de experiências que me fez crescer como pessoa e profissional, além de serem responsáveis por deixar essa trajetória mais leve e alegre.

À Prof. Dra. Cely Martins, por aceitar enfrentar esse desafio comigo e por compartilhar seu conhecimento e guiar este estudo sobre a metodologia BIM com maestria e dedicação. Somadamente, à Prof. Dra. Marisete pelo excelente acompanhamento.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Cândido e Eng. Luciano Hamed pela disponibilidade e pelas contribuições valiosas que certamente enriquecerão este trabalho.

"Para que todos vejam e saibam, considerem e compreendam que a mão do Senhor fez isso."
(Bíblia, Isaías 41:20).

RESUMO

O planejamento de layout de um canteiro de obra desempenha um papel fundamental no setor da construção civil, possibilitando uma análise crítica a partir da visualização sistêmica da disposição espacial de postos de trabalho, recursos e fluxos logísticos e operacionais, os quais podem ser potencializados com o uso da metodologia BIM. Contudo, apesar dos ganhos atrelados à modelagem tridimensional e à extração de quantitativos oriundos desse novo sistema, ainda é comum observar os desafios para sua implementação e, conseqüentemente, seu pleno funcionamento e operação. Nesse contexto, o presente estudo propõe a análise e o desenvolvimento de um layout de canteiro através da aplicação de princípios e ferramentas da metodologia BIM para uma obra de alto padrão, como estudo de caso. O principal objetivo é avaliar e demonstrar o impacto desta integração tecnológica para gerar eficiência e otimização de espaço e logística. Assim, o modelo tridimensional, desenvolvido a partir do software Autodesk Revit, permite uma análise apurada dos elementos constituintes de um layout de canteiro, utilizando parâmetros carregados de informações acerca de materiais, propriedades e sua interação com outras partes do sistema modelado. Para isso, a metodologia baseou-se no levantamento de informações e dados da obra para que fosse possível desenvolver uma modelagem tridimensional, simulando diferentes fases do canteiro no decorrer de todo o processo de construção do empreendimento e gerar a extração de dados capazes de produzir uma análise mais assertiva e eficiente da organização disposta no canteiro. Dessa forma, os resultados obtidos demonstraram que tornou-se possível não apenas quantificar com precisão a ocupação espacial e os percentuais de alocação por função de cada ambiente, mas também identificar de forma ágil os gargalos logísticos por meio de indicadores, possibilitando uma análise mais eficiente do comportamento do canteiro e a proposição de ajustes baseados em dados mensuráveis, com ganhos na redução de deslocamentos e interferências operacionais. Portanto, conclui-se que a metodologia BIM demonstrou ser uma ferramenta de suporte à decisão, permitindo a otimização de espaço e fluxo logístico, além de garantir o atendimento às exigências normativas de segurança e conforto dos trabalhadores.

Palavras-chave: Layout de canteiro de obra; Metodologia BIM; Planejamento; Otimização espacial e logística.

ABSTRACT

Construction site layout planning plays a fundamental role in the civil construction sector, enabling critical analysis through the systemic visualization of the spatial arrangement of workstations, resources, and logistical and operational flows, which can be enhanced using the BIM methodology. However, despite the gains associated with three-dimensional modeling and the extraction of quantities from this new system, challenges to its implementation and, consequently, its full functioning and operation are still commonly observed. In this context, this study proposes the analysis and development of a construction site layout through the application of BIM methodology principles and tools for a high-end construction project, as a case study. The main objective is to evaluate and demonstrate the impact of this technological integration in generating efficiency and optimizing space and logistics. Thus, the three-dimensional model, developed using Autodesk Revit software, allows for a thorough analysis of the constituent elements of a construction site layout, using parameters loaded with information about materials, properties, and their interaction with other parts of the modeled system. To achieve this, the methodology was based on gathering information and data from the construction site to develop a three-dimensional model, simulating different phases of the construction site throughout the entire project and generating data extraction capable of producing a more assertive and efficient analysis of the site's organization. Thus, the results obtained demonstrated that it became possible not only to accurately quantify the spatial occupation and allocation percentages by function of each environment, but also to quickly identify logistical bottlenecks through indicators, enabling a more efficient analysis of the site's behavior and the proposal of adjustments based on measurable data, with gains in reducing displacements and operational interferences. Therefore, it is concluded that the BIM methodology proved to be a decision support tool, allowing for the optimization of space and logistical flow, as well as ensuring compliance with regulatory requirements for worker safety and comfort.

Keywords: Construction site layout; BIM methodology; Planning; Spatial optimization and logistics.

RIEPILOGO

La pianificazione del layout di cantiere svolge un ruolo fondamentale nel settore dell'edilizia civile, consentendo un'analisi critica attraverso la visualizzazione sistematica della disposizione spaziale di postazioni di lavoro, risorse e flussi logistici e operativi, che può essere migliorata utilizzando la metodologia BIM. Tuttavia, nonostante i vantaggi associati alla modellazione tridimensionale e all'estrazione di quantità da questo nuovo sistema, si osservano ancora comunemente delle sfide alla sua implementazione e, di conseguenza, al suo pieno funzionamento e funzionamento. In questo contesto, questo studio propone l'analisi e lo sviluppo di un layout di cantiere attraverso l'applicazione dei principi e degli strumenti della metodologia BIM per un progetto di costruzione di alto livello, come caso di studio. L'obiettivo principale è valutare e dimostrare l'impatto di questa integrazione tecnologica nel generare efficienza e ottimizzare spazio e logistica. Pertanto, il modello tridimensionale, sviluppato con il software Autodesk Revit, consente un'analisi approfondita degli elementi costitutivi di un layout di cantiere, utilizzando parametri ricchi di informazioni su materiali, proprietà e la loro interazione con le altre parti del sistema modellato. Per raggiungere questo obiettivo, la metodologia si è basata sulla raccolta di informazioni e dati dal cantiere per sviluppare un modello tridimensionale, simulando diverse fasi del cantiere durante l'intero progetto e generando un'estrazione di dati in grado di produrre un'analisi più assertiva ed efficiente dell'organizzazione del sito. I risultati ottenuti hanno quindi dimostrato che è diventato possibile non solo quantificare accuratamente le percentuali di occupazione e allocazione spaziale in funzione di ciascun ambiente, ma anche identificare rapidamente i colli di bottiglia logistici attraverso indicatori, consentendo un'analisi più efficiente del comportamento del cantiere e la proposta di adeguamenti basati su dati misurabili, con vantaggi nella riduzione degli spostamenti e delle interferenze operative. Si conclude quindi che la metodologia BIM si è dimostrata uno strumento di supporto alle decisioni, consentendo l'ottimizzazione degli spazi e dei flussi logistici, oltre a garantire il rispetto dei requisiti normativi in materia di sicurezza e comfort dei lavoratori.

Parole chiave: Layout di cantiere; Metodologia BIM; Pianificazione; Ottimizzazione spaziale e logistica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de Layout de canteiro em CAD.....	20
Figura 2 – Processo de construção virtual	28
Figura 3 – Modelo de informação (BIM)	29
Figura 4 – Dimensões do BIM	30
Figura 5 – Análise do modelo 2D e 3D	32
Figura 6 – Modelo 3D de layout de canteiro de obra	33
Figura 7 - Fluxograma de processos da metodologia	35
Figura 8 – Fases do canteiro de obra	38
Figura 9 – Térreo da edificação (Fase 1.1).....	40
Figura 10 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 1.1).....	41
Figura 11 – 1º Pavimento da edificação (Fase 1.1)	41
Figura 12 – Visualização do modelo 3D do 1º Pavimento da edificação (Fase 1.1).....	42
Figura 13 – Térreo da edificação (Fase 1.2).....	43
Figura 14 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 1.2).....	43
Figura 15 – 1º Pavimento da edificação (Fase 1.2)	44
Figura 16 – Visualização do modelo 3D do 1º Pavimento da edificação (Fase 1.2).....	44
Figura 17 – Térreo da edificação (Fase 2).....	46
Figura 18 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 2).....	46
Figura 19 – Pavimento lazer da edificação (Fase 2).....	47
Figura 20 – Visualização do modelo 3D do pavimento lazer da edificação (Fase 2)	47
Figura 21 – Térreo da edificação (Fase 3).....	49
Figura 22 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 3).....	49
Figura 23 – Processo de gerenciamento de materiais no canteiro de obras	50
Figura 24 – Denominação dos fluxos de deslocamento no canteiro	50
Figura 25 – Extração de quantitativos dos ambientes do canteiro	53
Figura 26 – Extração de quantitativos de fechamentos do canteiro	53
Figura 27 – Aplicação do caminho de deslocamento no software	55
Figura 28 – Extração de quantitativos de caminhos de deslocamentos.....	56

Figura 29 – Identificação de cruzamentos de fluxos no térreo.....	73
Figura 30 – Identificação de cruzamentos de fluxos no 1º pavimento.....	74
Figura 31 – Tabela de ambientes para canteiro otimizado.....	78
Figura 32 – Caminhos de deslocamentos para canteiro otimizado.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentuais para layout de canteiro original	79
Gráfico 2 - Percentuais para layout de canteiro otimizado.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Tipos de canteiros de obra	22
Tabela 02 - Percursos adotados para cada rota de fluxo do canteiro de obra.....	57
Tabela 03 - Quantitativo de ambientes para a fase 1	61
Tabela 04 - Quantitativo de paredes para a fase 1.1	62
Tabela 05 - Quantitativo de portas e janelas para a fase 1.1	63
Tabela 06 - Distribuição logística de ambientes da fase 1.1	64
Tabela 07 - Percentual sobre área modelada	64
Tabela 08 - Percentual sobre áreas do pavimento e área livre.....	65
Tabela 09 - Relação estoque/produção	66
Tabela 10 - Índice de Saturação Espacial.....	66
Tabela 11 - Índice de Compactação do Layout	67
Tabela 12 - Área de vivência por trabalhador	68
Tabela 13 - Caminho de deslocamento.....	69
Tabela 14 - Determinação do DMPT	70
Tabela 15 - Determinação do TMM.....	71
Tabela 16 - Determinação das horas gastas com transporte.....	72
Tabela 17 - Determinação do índice de cruzamentos de fluxos	73
Tabela 18 - Quantitativo de ambientes para fase 3.....	75
Tabela 19 - Quantitativo de paredes para fase 3.....	75
Tabela 20 - Quantitativo de portas para fase 3	75
Tabela 21 - Percentual sobre área modelada (fase 3)	76
Tabela 22 - Percentual sobre áreas do pavimento e área livre (fase 3)	76
Tabela 23 - Índice de saturação espacial (fase 3)	76
Tabela 24 - Índice de compactação de layout (fase 3)	77
Tabela 25 - Área de vivência por trabalhador (fase 3)	77
Tabela 26 - Análise comparativa dos modelos (espacial)	81
Tabela 27 - Análise comparativa dos modelos (logística).....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	Building Information Modeling (Modelagem da Informação e da Construção)
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
DMPT	Distância Média Ponderada de Transporte
EPI	Equipamento de Proteção Individual
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICL	Índice de Compactação do Layout
IFC	Industry Foundation Classes
ISE	Índice de Saturação Espacial
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NR	Norma Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto
TMM	Tempo Médio de Movimentação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Generalidades	14
1.2	Problema e perguntas de pesquisa	15
<i>1.2.1</i>	<i>Questões motivadoras</i>	16
1.3	Objetivos	17
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	17
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	17
1.4	Organização do trabalho	17
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Planejamento de layout de canteiro de obra	19
<i>2.1.1</i>	<i>Layout de canteiro</i>	20
<i>2.1.2</i>	<i>Tipos de canteiro de obra</i>	22
<i>2.1.3</i>	<i>Componentes de um Layout de Canteiro de Obra</i>	22
<i>2.1.3.1</i>	<i>Áreas de Vivência</i>	22
<i>2.1.3.2</i>	<i>Áreas de Armazenamento</i>	23
<i>2.1.3.3</i>	<i>Áreas de Fluxo</i>	24
<i>2.1.3.4</i>	<i>Centrais de produção</i>	25
2.2	Metodologia BIM	26
<i>2.2.1</i>	<i>Definição e utilização do BIM</i>	26
<i>2.2.2</i>	<i>Dimensões do BIM</i>	29
<i>2.2.3</i>	<i>Revit</i>	31
2.3	Metodologia BIM e Layout de Canteiro de Obra	31
3	METODOLOGIA	35
3.1	Levantamento de informações e dados da obra para o planejamento do layout de canteiro proposto	35
3.2	Modelagem tridimensional e simulação de cenários	37
<i>3.2.1</i>	<i>Simulação de Fases</i>	37
<i>3.2.1.1</i>	<i>Fase 1</i>	38

3.2.1.2 Fase 1.1	40
3.2.1.3 Fase 1.2	42
3.2.1.4 Fase 2	45
3.2.1.5 Fase 3	48
3.3 Fluxo produtivo e de abastecimento	49
3.3.1 Fase 1	50
3.3.2 Fase 2	51
3.3.3 Fase 3	52
3.4 Análise da implementação	52
3.4.1 <i>Organização Espacial</i>	52
3.4.2 <i>Fluxo Logístico</i>	54
3.4.2.1 <i>Distância Média Ponderada de Transporte</i>	56
3.4.2.2 <i>Tempo Médio de Movimentação</i>	58
3.4.2.3 <i>Homem Hora consumido em transporte</i>	58
3.4.2.4 <i>Índice de Cruzamento de Fluxos</i>	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
4.1 Análise Espacial do canteiro (fase 1)	60
4.1.1 <i>Ambientes</i>	60
4.1.2 <i>Fechamentos e divisórias</i>	61
4.1.3 <i>Esquadrias (portas e janelas)</i>	62
4.1.4 <i>Indicadores Espaciais</i>	63
4.1.4.1 <i>Percentuais de áreas</i>	63
4.1.4.2 <i>Relação estoque/produção</i>	65
4.1.4.3 <i>Índice de saturação espacial</i>	66
4.1.4.4 <i>Índice de compactação de layout</i>	67
4.1.4.5 <i>Áreas de vivências por trabalhador</i>	67
4.2 Análise de fluxo logístico (fase 1)	68
4.2.1 <i>Indicadores Logísticos</i>	69
4.2.1.1 <i>Distância média ponderada de transporte</i>	69

4.2.1.2	<i>Tempo médio de movimentação</i>	70
4.2.1.3	<i>Homem hora com transporte</i>	71
4.2.1.4	<i>Índice de cruzamento de fluxos</i>	72
4.3	Comparativo de análise espacial do canteiro (fase 3)	74
4.4	Proposta de melhorias	77
4.4.1	<i>Cenário espacial</i>	78
4.4.2	<i>Cenário Logístico</i>	81
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

A indústria da construção civil configura-se como um dos pilares estratégicos da economia brasileira, exercendo um papel determinante na composição do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Consequentemente, essa cadeia produtiva também é responsável por ofertar inúmeras vagas de emprego anualmente e influenciar o desenvolvimento urbano, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Esse crescimento está alinhado com diversos fatores, sobretudo, a utilização de novas metodologias construtivas. Nesse sentido, a implementação do *Building Information Modeling* (BIM) tem contribuído positivamente e ganhado mais espaço nos últimos anos, fomentando a eficiência em projetos e obras, além de facilitar todo o processo de planejamento e execução.

No contexto nacional, a aplicação da metodologia BIM mostrou-se detentora de diversos benefícios, essencialmente, no que tange ao âmbito da redução de custos, otimização de cronogramas e melhorias na qualidade de projetos e serviços, possibilitando uma maior interação entre as equipes e, conseqüentemente, uma menor chance de surgimento de erros (Mattos; Souza, 2020). Contudo, apesar dos ganhos com a implementação desse processo colaborativo, ainda é possível notar alguns desafios para seu pleno funcionamento e operação.

Em consoante ao impulsionamento da construção civil, menciona-se que uma das principais ferramentas para o planejamento de um empreendimento é o layout de canteiro de obra, responsável por possibilitar a visualização de todos os locais presentes na obra, além dos fluxos de operação e logística, impactando diretamente na produtividade, segurança, custos e prazos. O layout de canteiro não deve ser elaborado durante a execução das atividades, visto que quanto mais planejado e pensado melhor serão os impactos atingidos por essa ferramenta (Mattos, 2010).

Nessa perspectiva, o layout de canteiro de obra associado à metodologia BIM pode fomentar, ainda mais, a eficiência produtiva e de qualidade dos serviços executados, baseando-se, por exemplo, nos benefícios alcançados com a utilização da modelagem tridimensional e a compatibilização espacial dos diversos elementos que compõem um canteiro de obra (Monteiro; Martins, 2015). Aliado a isso, também é possível realizar a estimativa de custos, possibilitando a redução de gastos operacionais e a mitigação de desperdícios (Sacks *et al.*, 2018), com o auxílio de relatórios de insumos e tabelas de materiais utilizados na composição do layout de canteiro de obra associado ao modelo tridimensional.

Como mencionado anteriormente, ainda é possível, apesar dos diversos benefícios, notar os desafios da implementação da metodologia BIM no segmento de elaboração de projetos, sobretudo no de layout de canteiro de obra. Dessa forma, o estudo em questão visa analisar um layout de canteiro utilizando princípios e ferramentas da tecnologia BIM, bem como demonstrar como essa implantação pode ser benéfica, a curto e principalmente longo prazo, aumentando a eficiência relacionada à organização dos espaços e equipes, delimitação e otimização de áreas e definição de fluxos/logística em obras verticais.

A pesquisa usou como ferramenta de instrumentação o software *Autodesk Revit*, por meio da modelagem tridimensional de um layout de canteiro de obra, possibilitando averiguar seus impactos e simulações de diferentes fases de um layout, além da possível compatibilização de projetos que pode auxiliar na integração com outras disciplinas e facilitar o processo de concepção dessa técnica de planejamento.

1.2 Problema e perguntas de pesquisa

O planejamento tem como definição principal um processo gerencial que engloba determinados objetivos e a busca por procedimentos, a fim de atingi-los, tendo seu funcionamento quando realizado em conjunto com o controle (Formoso, 2001). Nesse sentido, é possível compreender que o planejamento é essencial para alcançar um determinado propósito, como é o caso das obras e construções executadas pelo Brasil e pelo mundo, sendo necessário um gerenciamento eficaz para um resultado de qualidade, desempenho e com segurança. Logo, é de comum conhecimento que a construção civil exige um planejamento detalhado e assertivo, com o intuito de preservar-se contra prejuízos e minimizar gastos que poderiam ser evitados com uma organização e uma programação das etapas de uma obra. Dentre esses procedimentos, um processo crucial e bastante importante é o layout de canteiro.

Essa ferramenta diz respeito à alocação espacial dos espaços disponíveis, com o objetivo de gerar a disposição racional e eficiente dos recursos, como materiais, equipamentos e áreas de circulação, de modo a mitigar deslocamentos desnecessários e melhorar a produtividade (Mattos, 2010). Sob esse viés, faz-se necessário realizar um estudo prévio, focando em uma análise geral da obra como um todo, bem como suas possíveis fases, já que o layout de canteiro é responsável por realizar o arranjo do espaço físico de todos os recursos e setores presentes na obra, tais como almoxarifado, sala técnica, áreas de vivências e centrais de produção, além de projetar toda a rota e fluxo de trabalho executados na obra. Assim, é notório que na construção civil apenas realizar o gerenciamento de projetos e controle de serviços em execução não é

suficiente para alcançar, como mencionado anteriormente, um resultado acima do esperado sem que haja um planejamento real de como cada processo será operado da melhor forma possível, a fim de garantir o pleno e máximo desenvolvimento das atividades.

Apesar do que foi supracitado, cabe mencionar que ao negligenciar a etapa de concepção, análise e construção de um layout de canteiro de obras organizado, no qual diversos cenários são pensados e montados, com o intuito de selecionar o que apresentou a melhor otimização dos processos, é possível gerar uma série de problemas que podem comprometer a obra em muitos aspectos, como prazo, serviços e custos. O primeiro deles está relacionado ao espaço físico limitado presente em obras verticais, as quais, amiudadamente, encontram-se em áreas urbanas adensadas com um ambiente restrito, impedindo uma organização eficiente dos diversos recursos e áreas que um layout de canteiro deve conter. Aliado a esse fator, tem-se as dificuldades de planejamento na logística interna e externa da obra, a qual é responsável por organizar o fluxo de materiais e equipamentos, a fim de evitar caminhos desnecessários e potencializar a eficácia e a capacidade de produção, cujo mau gerenciamento pode acarretar o atraso dos projetos, improdutividade de mão de obra, desperdícios de insumos e tempo, aumento de custo e falta de qualidade dos processos construtivos. Dentre as causas dessas problemáticas, pode-se citar a falta de integração entre as equipes de planejamento, uma vez que a ausência de ferramentas que promovam a visualização integrada do canteiro de obras pode levar a decisões desalinhadas e inadequadas. Somado a isso, tem-se a baixa utilização de tecnologia para planejamento e o precário conhecimento, pois muitos canteiros ainda são planejados de forma tradicional, com pouca exploração das possibilidades oferecidas pela metodologia BIM para simular e otimizar o uso dos espaços e os fluxos de trabalho.

Faz-se necessário reforçar como a metodologia BIM (*Building Information Modeling*) pode contribuir para bons resultados na administração de uma obra, haja vista que a implementação do BIM no layout de canteiro é plenamente capaz de provocar o surgimento de diversos benefícios, a curto e longo prazo, possibilitando um ambiente virtual capaz de simular todas as fases, demandas e fluxos necessários dessa construção. Isso implica também na integração de outras disciplinas de projeto, como arquitetura, estrutura e instalações, proporcionando um layout com um alto nível de precisão e sem incompatibilização, facilitando o planejamento dos locais e recursos.

1.2.1 Questões motivadoras

Portanto, com base no que foi discutido, é importante listar algumas perguntas que motivaram e suscitaram bastante interesse do autor deste plano de trabalho a realizar o estudo

do tema proposto para esse projeto de graduação. A seguir, são mencionadas as indagações de incentivo a esse projeto de conclusão de curso:

- Como a metodologia BIM pode melhorar a organização do layout de canteiro?
- Quais são os benefícios do uso do BIM na definição das áreas de armazenamento e circulação em obras verticais?
- De que maneira o BIM pode otimizar o fluxo logístico de materiais no canteiro?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo geral*

Analisar o impacto da integração da metodologia BIM no planejamento de layout de canteiro de obra, focando na geração de eficiência e na otimização de espaço e logística.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Simular o layout do canteiro para diferentes períodos da obra utilizando ferramentas BIM.
- Diagnosticar a performance espacial e logística do canteiro por meio de indicadores técnicos de desempenho.
- Avaliar a implementação do BIM no planejamento logístico de obras verticais.
- Propor recomendações de otimização fundamentadas nos dados extraídos da modelagem e simulação.

1.4 Organização do trabalho

A estrutura organizacional deste trabalho foi dividida em cinco capítulos, os quais estão detalhados abaixo.

O primeiro capítulo diz respeito à introdução, no qual é possível realizar uma breve apresentação desse projeto de graduação referente à implementação da metodologia BIM no planejamento de layout de canteiro, destacando possíveis ganhos em otimização e logística. Além disso, encontram-se também as questões motivadoras, problematização, justificativa e,

por fim, os objetivos da pesquisa.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica, possibilitando a identificação de estudos e fundamentações teóricas utilizadas no embasamento acerca da definição e elaboração de um layout de canteiro de obra, bem como seus principais elementos formadores e sua relação com o BIM, enfatizando uma análise dessa metodologia e seus principais pontos de aplicação.

O terceiro capítulo demonstra as perspectivas metodológicas adotadas para o projeto em questão, incluindo o levantamento de informações e dados da obra, utilizada para o estudo de caso, assim como os procedimentos da modelagem tridimensional, simulação de cenários e quantitativos orçamentários.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da modelagem 3D. Neste tópico são discutidos os vieses de análise para essa implementação, a proposição de melhorias no layout e a obtenção de dados que comprovem os benefícios oriundos dessa metodologia para o layout de canteiro.

Encerrando o presente projeto de graduação, **o quinto capítulo**, menciona as conclusões do estudo, assim como os desafios e limitações da pesquisa para se atingir os objetivos estabelecidos. Nesse contexto, são abordados os pontos mais relevantes alcançados utilizando-se a metodologia BIM para o planejamento de um layout de canteiro de obra. Outrossim, apresenta-se as recomendações para futuros trabalhos que discorram acerca desse viés de conhecimento.

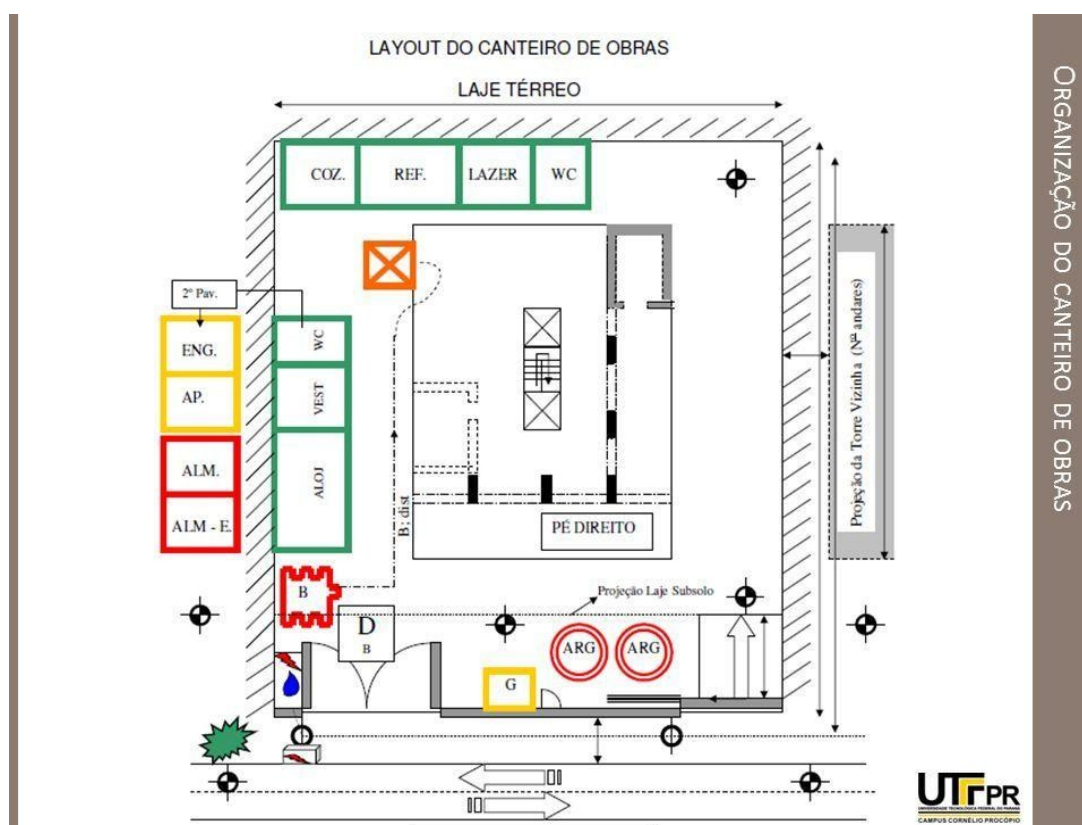
2 REVISÃO DE LITERATURA

Este tópico do plano de trabalho visa proporcionar ao leitor/avaliador as principais referências bibliográficas que motivaram o autor a realizar a busca, concepção e estudo do tema em questão, bem como da problemática que permeia tal conteúdo. Desse modo, a argumentação, a partir das referências, pode ser dividida em três partes: Planejamento de layout de canteiro de obra, apresentação da metodologia BIM e a interação entre essas duas ferramentas para avaliação de cenários e análise de benefícios em otimização.

2.1 Planejamento de layout de canteiro de obra

A indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos (Mattos, 2010). É indubitável afirmar que esse setor da economia, considerado um dos mais antigos e fundamentais, é bastante importante para sociedade e merece um olhar bastante crítico, uma vez que desde as primeiras edificações até as obras atuais mais modernas nota-se um alto grau evolutivo, seja de tecnologias e materiais aprimorados ou novas técnicas de processos construtivos. Contudo, apesar dos grandes avanços, a construção civil ainda enfrenta desafios relacionados à eficiência e à produtividade. Sendo assim, um elemento de fator decisivo no sucesso de uma obra é o layout de canteiro, bem como seu planejamento, a fim de garantir o bom desenvolvimento das atividades e dos fluxos de trabalho.

Figura 1 – Exemplo de Layout de canteiro em CAD



Fonte: Librain (2024).

2.1.1 Layout de canteiro

Segundo Corrêa (2001), o planejamento é entendido como uma previsão do estado futuro, para apoiar a tomada de decisão adequada. Nesse contexto, torna-se imprescindível enfatizar a necessidade de um planejamento que esteja pautado na tomada de decisão adequada, tendo em vista que, como no caso de um layout de canteiro de obras, molda-se diversos tipos de caminhamentos e fluxos, de modo que o melhor e que atenda às necessidades da construção seja escolhido.

Como mencionado anteriormente, o layout de canteiro é responsável por realizar a disposição dos espaços físicos presentes na obra, seja para gerenciamento e administração ou para execução dos processos construtivos. Sua importância está diretamente relacionada à eficiência das operações no canteiro, já que um layout bem planejado reduz deslocamentos desnecessários, minimiza o tempo de espera e promove um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

“O arranjo do canteiro não pode ser definido na hora em que a obra está sendo mobilizada e sem qualquer planejamento anterior. Sua relevância para o suporte de

todas as atividades produtivas indica que ele tem influência direta na dinâmica da obra.” (Mattos, 2010).

Com base na referência do engenheiro civil Aldo Dórea Mattos, há uma visão, a qual deve ser levada em consideração desde o início da obra, que destaca a importância do planejamento antecipado do arranjo do layout de canteiro, cuja organização e controle não devem ser negligenciados ou tratados de uma maneira improvisada, já que existe um suporte crucial para todas as atividades produtivas. A disposição do canteiro deve ser pensada, visando atingir os objetivos da construção, antes do início da obra, preferencialmente na etapa de concepção do planejamento.

Desse modo, incluído todos os elementos constituintes de um layout de canteiro, os quais serão mencionados posteriormente, como áreas de armazenamento e vivência, centrais de produção e espaços administrativos, impactando diretamente no movimento de pessoas e materiais e também gerando influência na dinâmica da obra, de modo a funcionar como “o coração da logística e do fluxo de trabalho da construção”. Assim, pode-se concluir que o planejamento do layout de canteiro não é apenas um detalhe operacional, mas sim uma decisão estratégica, a qual pode ser ainda mais eficiente e ter seu potencial aumentado quando aliado à metodologia BIM.

Após o entendimento da definição, características e alguns benefícios de um planejamento de canteiro bem desenvolvido, é relevante mencionar os objetivos do processo de elaboração do layout. Nesse contexto, de acordo com Tommelein (1992), dentre as múltiplas finalidades desse planejamento, um layout de canteiro bem pensado deve atingir duas categorias principais, as quais são: objetivos de alto nível e baixo nível. O primeiro discorre acerca da prioridade, durante o planejamento, da segurança dos colaboradores, garantindo áreas identificadas e bem demarcadas, acessos seguros, colocando em primeiro plano a segurança dos trabalhadores, além de buscar a motivação do operacional ao oferecer agradáveis condições de trabalho, as quais devem estar em conformidade com a norma regulamentadora (NR) e as boas práticas construtivas. Já o segundo objetivo, é pautado na eficiência e produtividade operacional, cujo planejamento do layout de canteiro deve facilitar e otimizar a execução das atividades, reduzindo caminhos desnecessários de distâncias de transporte e tempo de movimentação, a fim de evitar conflitos logísticos. Essa categoria é responsável por influenciar diretamente no tempo e esforço aplicados à realização dos serviços dentro do canteiro de obra.

2.1.2 *Tipos de canteiro de obra*

Segundo Illingworth (1993), os canteiros de obra classificam-se a depender de algumas características, as quais estão detalhados na tabela abaixo.

Tabela 01 – Tipos de canteiros de obra

TIPOS DE CANTEIROS DE OBRA	
Tipo	Definição
Restritos	O empreendimento caracteriza-se por um coeficiente de ocupação máximo, no qual a projeção da edificação coincide com os limites perimetrais do lote, suprimindo áreas livres remanescentes para logradouros internos.
Amplios	A configuração espacial do sítio apresenta baixa densidade de ocupação, reservando porções significativas do terreno para a gestão logística. Essa característica favorece a implementação de fluxos viários desimpedidos e a setorização estratégica de locais de estocagem e infraestruturas de vivência.
Longos e estreitos	O canteiro apresenta limitações geométricas em eixos específicos, resultando em uma configuração segregada que restringe acessos e condiciona a logística de suprimentos a pontos de entrada pontuais e predeterminados.

Fonte: Tipos de canteiros adaptado de Illingworth (1993).

Essa tipologia acerca dos tipos de canteiros de obra é bastante relevante para o estudo e o planejamento do layout, tendo em vista que conhecendo a categoria do canteiro torna-se possível realizar a elaboração de um layout mais assertivo e, conseqüentemente, com maior fluidez e desempenho.

2.1.3 *Componentes de um Layout de Canteiro de Obra*

Os componentes constituintes durante o planejamento de um layout de canteiro envolvem a organização de diversos espaços e recursos no local da construção, impactando no fluxo de trabalho e logístico, armazenamento de materiais e conforto dos trabalhadores. Esses elementos podem ser divididos em áreas de vivência, armazenamento, fluxo e centrais de produção. A seguir, são apresentados os principais elementos de um layout de canteiro:

2.1.3.1 *Áreas de Vivência*

- **Áreas de vivência:** Locais destinados ao convívio e socialização entre os colaboradores da obra.

1. Vestiários e banheiros (masculino e feminino):

Esses espaços são projetados para atender às necessidades básicas humanas e garantir condições adequadas de higiene e conforto para os trabalhadores. É válido salientar que essas áreas são regidas pela NR-18, a qual determina os parâmetros legais para essas instalações, como o dimensionamento de banheiros e lavatórios, de acordo com o efetivo de colaboradores da obra ou a localização estratégica que essas áreas precisam para serem alocadas nos locais certos.

2. Refeitório:

Como pode-se imaginar, este ambiente é destinado à alimentação do operacional da obra e segue rígidos padrões para sua implementação no canteiro. A exemplo disso, tem-se as condições de posicionamento, recomendadas pela NR-18, como evitar proximidades com centrais de produção, não estar alocada em subsolos, não possuir ligação direta com instalações sanitárias, além de utilizar sistemas de fechamento que possibilitem boas condições de iluminação e ventilação para os trabalhadores.

3. Salas técnicas:

Responsáveis por abrigar espaços destinados ao planejamento, controle, gestão e segurança da obra, podem conter sala de reunião, no qual é possível discutir questões de cronogramas, mudanças de projeto e possíveis estratégias adotadas pela equipe, espaços destinados ao armazenamento de documentos, como projetos, memoriais descritivos, alvarás e instruções de trabalho. Nesse sentido, ratifica-se o que foi afirmado por Melhado *et al* (2005) ao ressaltar que esses espaços são encarregados de possibilitar a comunicação integrada entre todos os responsáveis pelas atividades executadas no canteiro e são de extrema importância, uma vez que regem todos os setores da obra.

2.1.3.2 Áreas de Armazenamento

- Áreas de armazenamento: Esses espaços fazem parte do grupo de áreas para armazenamento/estocagem de diferentes tipos de materiais.

1. Almojarifado:

Esse ambiente é proposto para o armazenamento e consequente entrega de materiais utilizados na obra, como ferramentas, equipamentos e insumos. É de extrema relevância para o layout de canteiro já que deve ser disposto de forma organizada e acessível, de modo a evitar desperdícios e facilitar a movimentação interna, o que pode impactar na redução de gastos de tempo de transporte e melhorar a produtividade, segundo Souza (2000).

2. Estoques:

Semelhantemente ao almoxarifado, esse local também se refere ao armazenamento, porém de materiais de grande porte, como blocos de alvenaria, esquadrias, tintas, louças sanitárias, impermeabilizantes, dentre outros. Para seu correto posicionamento, deve-se levar em consideração à fase da obra, tendo em vista que isso impacta diretamente nos materiais utilizados e no dimensionamento que deve ser feito para estocagem deles. Assim, algumas sugestões a serem seguidas são o posicionamento visando o fluxo de recebimento e distribuição de materiais e estar situado próximo ao almoxarifado para facilitar o correto controle e gestão desses insumos.

2.1.3.3 Áreas de Fluxo

- Áreas de fluxo: São as vias utilizadas para movimentação de pessoas, equipamentos e veículos dentro do canteiro de obra, de modo a otimizar deslocamentos e garantir a segurança dos colaboradores. (Costa, 2018)

1. Guarita/entrada de pessoas e materiais:

Este local é de suma importância no planejamento de layout de canteiro, pois deve estar bem localizado, tendo em vista que é considerado um ponto crítico, pois garante o controle de entrada e saída de trabalhadores, visitantes e entrega de materiais. Nesse sentido, é necessário atentar-se que seu posicionamento deve ser pensado estrategicamente na entrada principal, com fácil acesso às vias públicas e próxima à área administrativa, enfatizando a distinção e separação de fluxos de pedestres e veículos, a fim de evitar possíveis acidentes no canteiro. Além disso, para facilitar o controle de acesso (entrada/saída) de colaboradores, recomenda-se o posicionamento do dispositivo de registro de ponto neste ambiente.

2. Fluxos e elementos de movimentação horizontal:

A movimentação horizontal diz respeito ao deslocamento de materiais, funcionários e equipamentos. É necessário definir rotas de circulação, uma vez que essas vias devem ser dimensionadas com o intuito de possibilitar o fluxo simultâneo de caminhões, empilhadeiras, carrinhos de mão, além do caminhar de pedestres, sendo importante planejar o caminho de ida e de volta, de modo que se tenha espaço suficiente para o não cruzamento dos fluxos pensados. Para isso, é importante o uso de sinalizações, como faixas demarcadas no piso, iluminações, cones e placas, que facilitem o entendimento acerca do tipo de fluxo daquele espaço.

3. Fluxos e elementos de movimentação verticais:

A movimentação vertical compreende equipamentos que auxiliam no deslocamento vertical, com o auxílio de guindastes, como gruas e elevadores, como as cremalheiras e escadas provisórias. Nesse contexto, esses elementos devem ser posicionados estrategicamente, de preferência na área central da obra e próximos às frentes de trabalho, a fim de mitigar o tempo de espera por materiais e também no deslocamento dos colaboradores. Deve-se considerar a capacidade adequada dos equipamentos, de maneira que o dimensionamento leve em consideração o volume de materiais e o número de trabalhadores transportados diariamente. Assim, recomenda-se buscar locais que já possuam aberturas e evitar espaços com muitas cargas de serviços e com alta demanda de atividades de instalações.

2.1.3.4 Centrais de produção

- Centrais de produção: Desempenham um papel fundamental na obra, pois esses locais são responsáveis pela preparação dos materiais utilizados para execução dos serviços na obra. Assim, um planejamento adequado pode garantir eficiência e influenciar na redução de desperdícios. (Costa, 2018)

1. Central de argamassa/concreto:

Essa central deve ser planejada de modo a ficar mais próxima das frentes de serviço e dos elementos de movimentação vertical, com o intuito de atenuar o tempo de transporte e evitar desperdícios. Outro ponto importante é que esse local deve ser posicionado perto das baias de agregados e do estoque de cimento, cujo recebimento precisa ser facilitado, de preferência no próprio local de armazenamento, buscando sempre o aproveitamento por gravidade e a maior proximidade possível da betoneira, haja vista que esse equipamento é o responsável pela produção desse tipo de central de produção, além do devido cobrimento desses insumos, como cimento, areia e brita, a fim de proteger os materiais de intempéries. Por fim, recomenda-se a proximidade deste local com um ponto hidráulico definitivo ou provisório, possibilitando, assim, uma produção mais rápida e ágil.

2. Central de armação:

A central de armação é responsável pela execução de corte, dobra e montagem de todas as ferragens utilizadas na estrutura da obra. É essencial que haja toda a infraestrutura necessária para o manuseio do aço, como bancadas de corte e dobra e equipamentos de solda, além da devida cobertura da área. Este local deve, se possível, possuir proximidade com a estrutura principal, a fim de minimizar deslocamentos desnecessários e potencializar a capacidade de

produção. Além disso, para o armazenamento de insumo, neste caso o aço, deve-se estar bastante organizado, facilitando a logística de manuseio do material, como realizar a separação por diâmetro e tipo de aço, evitando o cometimento de erros durante a execução do serviço e, conseqüentemente, a geração de desperdícios. Para este tipo de central, recomenda-se a proximidade dos pontos de execução e a busca pela menor interferência possível com outras frentes de serviço.

3. Central de carpintaria:

Esse espaço é destinado à fabricação de fôrmas de madeira e escoramentos, possibilitando o manuseio desse insumo para diversos fins no canteiro de obra. Para seu posicionamento, sugere-se que esteja em proximidade com as frentes de concretagem, buscando centralidade dos pontos de execução e manter distância de áreas que contenham risco de incêndio, haja vista que a madeira é um material de fácil combustão. A organização dessa central é de suma importância, pois pode gerar influência nos demais serviços, sobretudo o de estrutura, e comprometer a qualidade de uma peça estrutural, por exemplo. Assim, deve-se realizar a separação dos insumos, como madeira bruta, pré-cortada e peças finalizadas, a fim de otimizar o fluxo de produção.

2.2 Metodologia BIM

2.2.1 Definição e utilização do BIM

Pode-se afirmar que a metodologia BIM não possui uma definição específica, já que esta possui diversas significações a depender do autor. Segundo Eastman *et al.* (2011), "*Building Information Modeling (BIM)* é um processo de geração e gerenciamento de dados do edifício durante seu ciclo de vida, usando modelos digitais tridimensionais inteligentes que contêm dados geométricos e não geométricos.". Contudo para GU e London (2010), a definição é estabelecida como "conjunto de metodologias, tecnologias e processos que permitem a criação, utilização e gestão de representações digitais de ativos físicos e funcionais da construção civil."

O *National Institute of Building Sciences* (2007) define BIM como uma representação digital das características físicas e funcionais de uma edificação, permitindo um fluxo contínuo de informações desde a concepção até a operação. Enquanto a norma ISO 19650 (2018) destaca

que o BIM se baseia na gestão de um modelo digital compartilhado, garantindo a coordenação entre as partes envolvidas no projeto.

Diante do exposto, é possível afirmar que a indústria da construção civil passou por uma grande transformação e, também, evolução com a adoção do *Building Information Modeling* (BIM) ou traduzido literalmente como modelagem da informação da construção, possibilitando uma melhoria nos processos tanto relacionados ao planejamento como na execução de obras de diferentes portes, potencializando eficiência e qualidade, além da redução de erros de execução e gerenciamento.

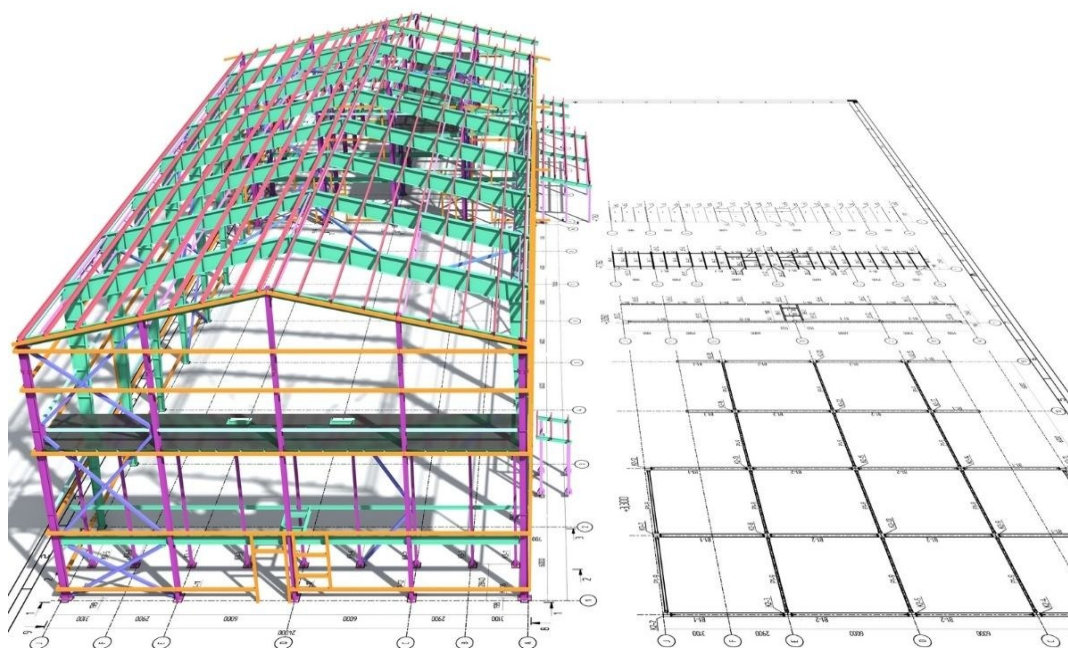
De acordo com Autodesk (2022),

“A BIM (Modelagem de Informação da Construção) é o processo holístico de criação e gerenciamento de informações para um recurso construído. Com base em um modelo inteligente e habilitada por uma plataforma na nuvem, a BIM integra dados estruturados e multidisciplinares para produzir uma representação digital de um recurso em todo seu ciclo de vida, desde o planejamento e o projeto até a construção e as operações.”.

Nesse sentido, entre um dos ganhos oferecidos pela utilização do BIM está a modelagem paramétrica, como mencionado na última definição, possibilitando a criação de um modelo 3D alimentado por informações detalhadas dos projetos, facilitando a visualização do empreendimento antes mesmo que este seja executado, sendo possível efetuar a edição do modelo a qualquer momento de forma prática e rápida, agilizando todo o processo da construção virtual.

A figura 2 a seguir retrata essa questão da modelagem paramétrica, cujas informações são levantadas do 2D e moldadas para o 3D, com auxílio, por exemplo, do software *Autodesk Revit*.

Figura 2 – Processo de construção virtual



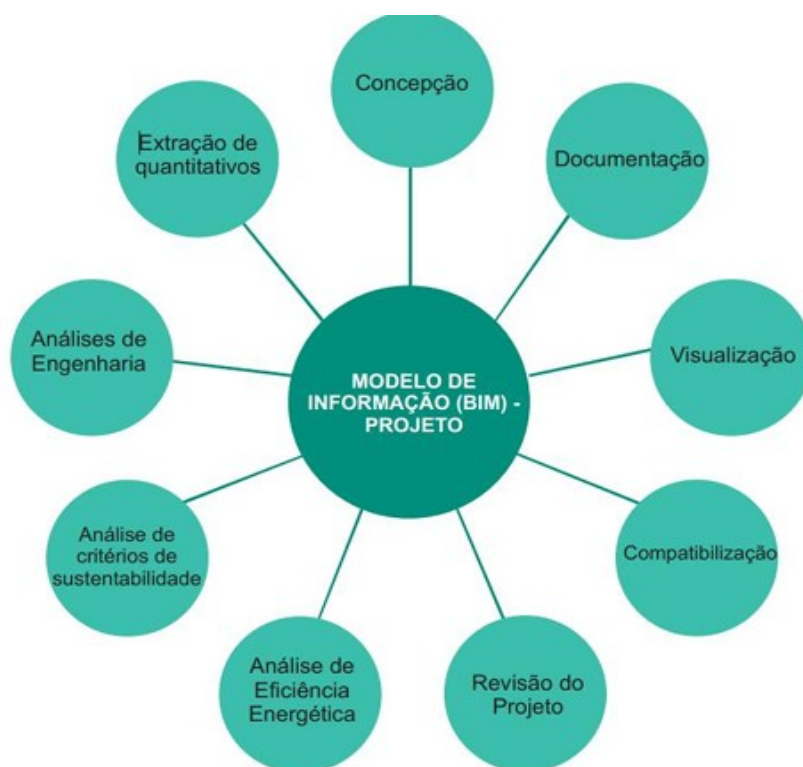
Fonte: Fundação Certi (2021).

Essa tecnologia auxilia ainda na extração de quantitativos de forma automática, por meio da geração de tabelas oriundas dos elementos moldados, facilitando o procedimento de orçamentação e, conseqüentemente, na diminuição do surgimento de erros de previsão quantitativa relacionados aos insumos. Outrossim, também é possível, através da metodologia BIM, alcançar interoperabilidade entre os diferentes componentes do sistema construtivo, permitindo a integração das disciplinas em um modelo unificado e realizar a análise de compatibilidade entre elas, seja fundação/contenção, estrutura, arquitetura e/ou instalações. Essa análise é de suma importância para evitar erros de execução causados pela incompatibilidade entre os projetos, como uma tubulação passando por uma viga. Assim, antes que esse descuido seja cometido, por intermédio do modelo 3D, pode-se verificar essas inconsistências e propor soluções mais assertivas.

Para isso, utiliza-se um tipo de arquivo universal denominado de *Industry Foundation Classes* (IFC), o qual garante a interoperabilidade entre as ferramentas da metodologia BIM, possibilitando a integração de modelos paramétricos distintos por meio de formatos padronizados (Succar, 2009).

A figura 3 ilustra, de forma objetiva, as utilizações da metodologia BIM, as quais podem variar de acordo com a fase da obra ou objetivo dos envolvidos.

Figura 3 – Modelo de informação (BIM)



Fonte: Addor *et al.* (2013).

2.2.2 Dimensões do BIM

Apesar de ser bastante representado pela modelagem tridimensional, a metodologia BIM expandiu-se para diferentes usos e aplicações, a fim de auxiliar diversas dimensões presentes na construção civil, desde o planejamento e execução até o gerenciamento integrado de projetos (Eastman *et al.*, 2011).

O BIM tridimensional representa a base primordial da metodologia, que permite a concretização de modelos digitais detalhados e paramétricos dos componentes construtivos, não apenas viabilizando a melhor visualização do projeto, como também facilitando a compatibilização das disciplinas, na medida em que previne erros e retrabalhos (Biblus, 2018).

Avançando neste sentido, o BIM 4D incorpora uma variável imprescindível: o fator tempo, pois ao introduzi-lo no modelo, torna-se possível simular a sequência construtiva e aperfeiçoar o cronograma da obra, permitindo um planejamento mais eficaz e minimizando os conflitos durante a execução.

Pertinente à viabilidade econômica do projeto, o BIM 5D atinge maior aplicabilidade ao relacionar os componentes do modelo a bases orçamentárias, possibilitando a quantificação

automática de materiais, aumentando a precisão nos orçamentos e facilitando a gestão financeira da obra.

Já o BIM 6D amplia a metodologia para um tema cada vez mais em evidência: a sustentabilidade, pois possibilita a realização de estudos ambientais mais detalhados, propiciando melhores soluções ecológicas, tais como a otimização no consumo energético e a diminuição relativa à emissão de carbono, possibilitando que o BIM contribua para edificações mais eficientes e ambientalmente responsáveis.

O BIM 7D amplia a aplicabilidade do modelo para além da fase da construção, atingindo a operação e a manutenção da edificação, pois ao centralizar as informações sobre os componentes fica muito mais fácil planejar e executar as manutenções preventivas e corretivas, garantindo maior durabilidade e eficiência ao longo da vida útil do empreendimento.

Com foco na prevenção de acidentes, o BIM 8D busca, ainda na fase de projeto, tratar acerca da saúde ocupacional dos envolvidos no processo de construção, garantindo condições adequadas de trabalho.

Pautado nos princípios do *lean construction*, conhecido também como construção enxuta, no BIM 9D a questão da construção está focada na eliminação de desperdícios e na otimização dos processos construtivos envolvidos (Formoso, 2021).

Por fim, o BIM 10D busca a aproximação de uma construção industrializada, buscando a integração total da cadeia de suprimentos e máxima produtividade ao integrar novos métodos tecnológicos.

Figura 4 – Dimensões do BIM



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA, 2025.

Sob esse viés, no que tange à realização deste trabalho técnico, é válido ressaltar que as dimensões utilizadas para esse estudo de caso foram a 3D (modelagem) e 5D (quantitativos), cuja interação possibilitou a retroalimentação para otimização de fluxo logístico e espacial. Assim, essa integração entre dimensões permite que o gestor da obra migre de um planejamento empírico para um planejamento baseado em dados reais de volume e espaço. Em uma obra vertical, caso estudado, no qual o espaço de solo é reduzido e valioso, a precisão do 5D evita o estrangulamento logístico causado pelo excesso de materiais sem local apropriado.

2.2.3 Revit

Uma das ferramentas mais utilizadas no contexto da modelagem da informação da construção, e também uma das mais conhecidas, é o *Autodesk Revit*, software que possibilita a elaboração de modelos paramétricos (dimensão 3D) carregados de informação, cujos elementos moldados possuem dados detalhados acerca de materiais, propriedades e sua interação com outras partes do sistema modelado, além da oportunidade de realizar qualquer modificação automática em diferentes vistas e cortes (Eastman *et al.*, 2011). Ademais, essa plataforma permite a integração e gestão de projetos de diferentes disciplinas da construção (arquitetura, estrutura e instalações, por exemplo), possibilitando a visualização dos diferentes modelos em uma única interface e garantindo maior aproximação entre as equipes e, conseqüentemente, uma compatibilização mais adequada, corroborando a atuação desse software na dimensão 4D no que tange às simulações e análises facilitadas. O *revit* também é responsável pela extração automática de quantitativos (BIM 5D) e relatórios de insumos levando em consideração vários parâmetros, como o montante de materiais, seu tipo e onde eles estão inseridos, contribuindo na execução de orçamentos mais precisos e assertivos e no controle financeiro da obra.

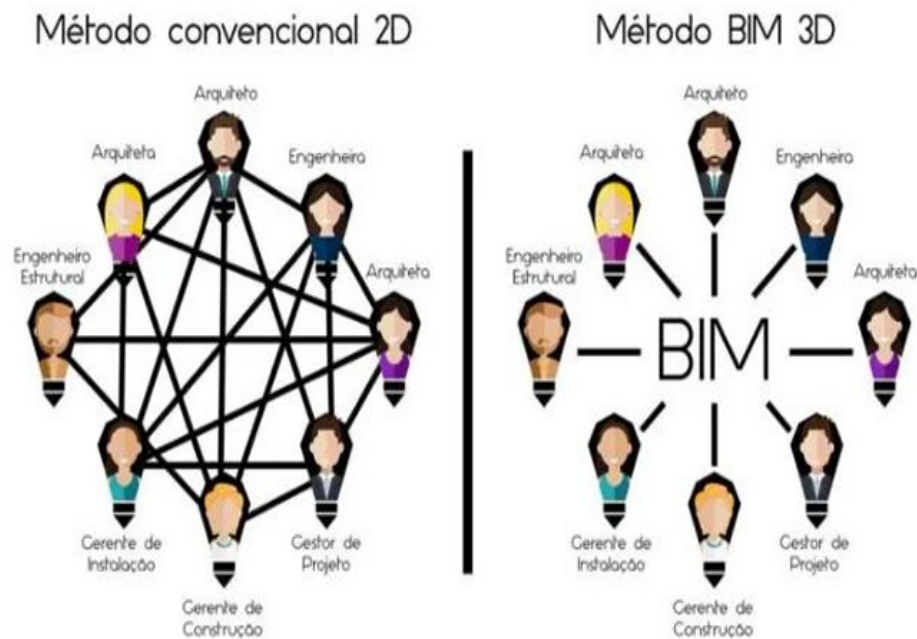
Esse software será a ferramenta aplicada neste trabalho, haja vista que, como mencionado anteriormente, é possível modelar as condições do empreendimento em diferentes fases. Assim, alguns layouts de canteiro foram modelados com o auxílio dessa plataforma, permitindo a análise e o comportamento de um layout elaborado utilizando aparatos da metodologia BIM.

2.3 Metodologia BIM e Layout de Canteiro de Obra

Conforme discutido inicialmente, a estruturação do layout de canteiro é determinante para o êxito do empreendimento, visto que impacta diretamente a produtividade e a eficiência

logística. Historicamente, esse método de planejamento era executado utilizando desenhos bidimensionais, com uso do sistema *Computer Aided Design* (CAD) ou desenho assistido por computador. Esse método, embora bastante empregado nas obras atualmente, pode apresentar algumas falhas quanto aos processos gerenciais e à organização espacial e alocação inadequada dos materiais, dificultando um controle eficiente, enquanto a metodologia BIM enfatiza a necessidade de integração entre todas as disciplinas e, conseqüentemente, seus idealizadores e executores. A figura 5 ilustra como o processo é visto em diferentes métodos, seja ele o convencional 2D ou pelo BIM 3D, ratificando a interoperabilidade entre as equipes.

Figura 5 – Análise do modelo 2D e 3D



Fonte: SPBIM (2024).

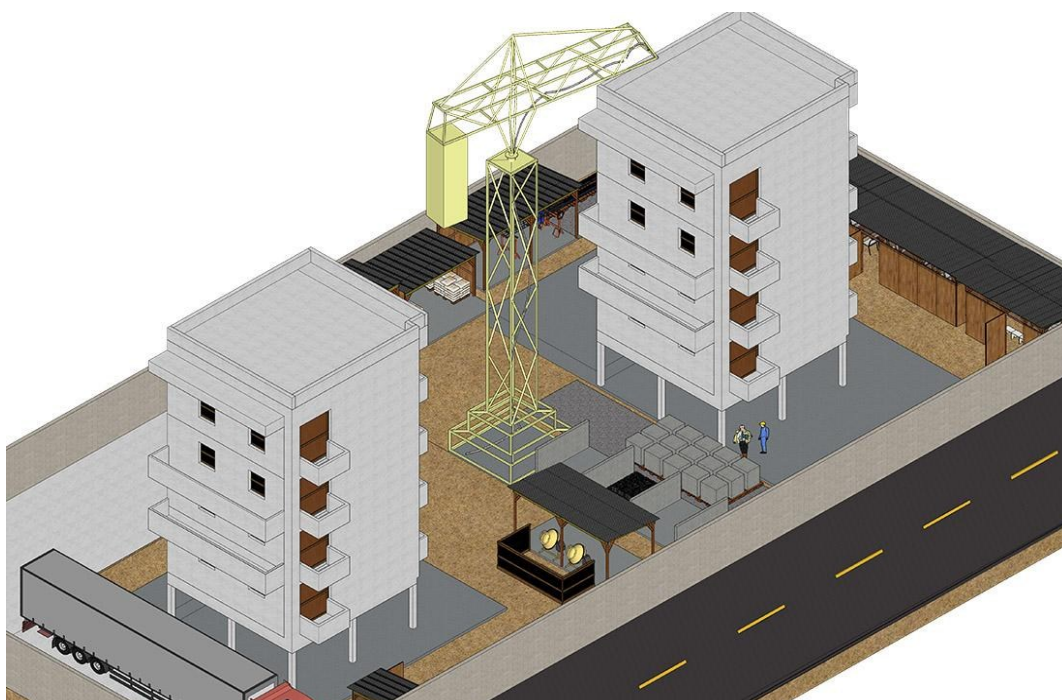
Observa-se, então, a relação entre a metodologia BIM e o layout de canteiro de obra é indispensável nos tempos hodiernos, visto que a utilização de ferramentas dessa filosofia, como o revit, mencionado anteriormente, auxiliam em um planejamento mais controlado por meio da elaboração de modelos tridimensionais detalhados do canteiro, os quais possibilitam uma melhor organização do espaço e redução de conflitos entre diferentes setores do canteiro (Azhar, 2011). Além disso, também é possível realizar simulações de cenários distintos que englobam toda a construção do empreendimento.

Sob esse viés, sabe-se que uma construção é formada por diferentes etapas e o canteiro de obra está em constante mudança ao longo do tempo, compreendendo principais fases, como

contenção, fundação, estrutura, acabamento e entrega, cujas necessidades, tanto de postos de trabalho como de armazenamento de insumos, mudam no decorrer de cada ciclo construtivo. Para isso, o software revit dispõe de um artifício que possibilita, em um mesmo modelo, representar diferentes fases da obra em apenas alguns cliques, possibilitando, por exemplo, diferentes locais de armazenamento e estoque, áreas de vivência e circulação, fluxo de equipamentos e máquinas e centrais de produção.

Na figura 6 é possível observar o nível de detalhamento que um modelo 3D possui e como é viável a compatibilização entre os diferentes componentes presentes na obra.

Figura 6 – Modelo 3D de layout de canteiro de obra



Fonte: Revit (2024)

É indubitável afirmar que a aplicação do BIM no planejamento de layout de canteiro representa um avanço bastante significativo em relação aos métodos tradicionais, especialmente em alguns quesitos, como visualização e tomada de decisões estratégicas, uma vez que se torna possível obter não somente uma representação geométrica, mas também um armazenamento de dados, os quais auxiliam no controle dos processos construtivos, fluxos logísticos e determinação das diferentes áreas que compõem um canteiro de obra (Monteiro; Martins, 2015).

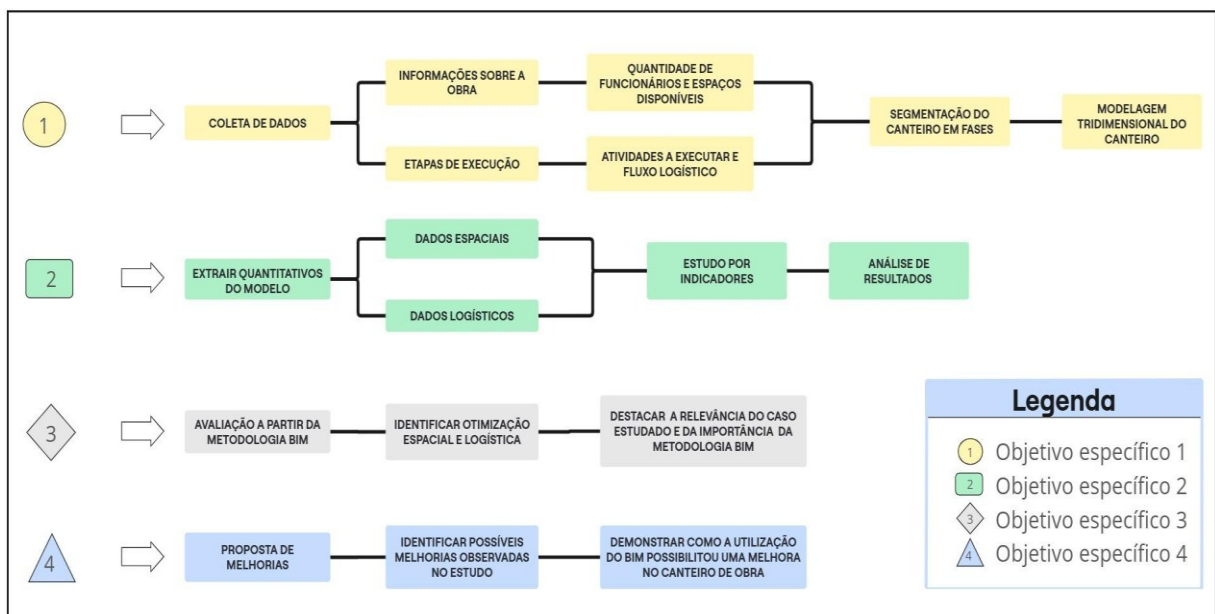
Além da possibilidade de visualização do modelo construído e atribuído a parâmetros reais, é possível gerar a extração de quantitativos de um banco de informações tridimensionais, ou seja, o processo de orçamentação deixa de ser limitado a elementos em plantas estáticas para componentes carregados de informação e com uma precisão maior, possibilitando uma otimização dos recursos presentes no canteiro de obras (Eastman *et al.*, 2014).

Nesse sentido, no planejamento tradicional, quantificar tapumes, ambientes e áreas de vivência é um processo manual e sujeito a erros, entretanto, com a utilização do BIM, cada objeto modelado possui parâmetros intrínsecos que geram tabelas automáticas. Com a tabela de componentes, é possível extrair quantitativos exatos de elementos temporários, como portas e janelas para áreas de vivência e até paredes com a metragem quadrada exata para cada fase, evitando sobras ou faltas de material. Outrossim, pode-se realizar uma análise da gestão de áreas, a partir do cálculo instantâneo de cada espaço modelado, como centrais de produção e locais de estoque, possibilitando a verificação entre esses ambientes de forma eficiente e ágil, de modo que o projetista responsável pode posicioná-los de uma forma a minimizar o transporte interno. Paralelamente, pode-se também, em um mesmo modelo tridimensional, usando o comando de fases, simular diversos momentos para esse canteiro, tornando a visualização mais real, visto que é possível acompanhar as diferentes etapas da obra, como estoques, centrais de produção e áreas de vivência.

3 METODOLOGIA

Como a execução deste trabalho técnico diz respeito à análise e à demonstração dos benefícios que a implementação da metodologia BIM pode gerar no planejamento de layout de canteiro de obra, é proposto uma abordagem baseada em pesquisa aplicada, combinando revisão bibliográfica, modelagem virtual e análise de cenários com estudo de caso. Assim, é proposto a elaboração de uma modelagem tridimensional (3D), com auxílio do software Autodesk Revit para, a partir das informações dispostas no modelo, possibilitar a sondagem de uma otimização do planejamento de layout do canteiro da obra. Nesse sentido, esse tópico abordará como o processo de modelagem será operado e quais plataformas serão necessárias para o desenvolvimento do projeto, além da definição relacionada aos aspectos que possibilitarão a análise dessa implementação. A figura 7 representa uma síntese acerca dos processos constituintes da metodologia deste trabalho técnico.

Figura 7 - Fluxograma de processos da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.1 Levantamento de informações e dados da obra para o planejamento do layout de canteiro proposto

Inicialmente, para que seja possível realizar a execução da modelagem e, conseqüentemente, das simulações de diferentes cenários, é necessário obter o levantamento de dados acerca da obra estudada, como a quantidade de funcionários para o dimensionamento das

áreas de vivência e o tipo de construção, pois, deste modo, pode-se determinar quais espaços serão indispensáveis na montagem do layout de canteiro. Esses dados permitirão uma simulação mais realista da amostra, garantindo um modelo BIM que represente precisamente as condições do canteiro.

Uma série de informações deve ser levantada para a construção de um layout assertivo. Uma delas são as características do terreno e condições topográficas, pois conhecendo questões como dimensões, acessos e restrições físicas pode-se posicionar os elementos e evitar conflitos espaciais, além de considerar possíveis pontos de aproveitamento dessas condições, como utilizar a movimentação de materiais a partir da ação da gravidade, como é o caso das baias de areia e brita da obra analisada, otimizando a logística. Ademais, outros dados relevantes estão relacionados ao fluxo de materiais e equipamentos, visto que a movimentação vertical e horizontal é realizada a partir desse maquinário, impactando diretamente no dimensionamento de diversos elementos do canteiro, além de equipamentos, como betoneira, a qual define o melhor posicionamento da central de argamassa, por exemplo.

Nesse sentido, para a viabilização do planejamento do layout de canteiro, a partir da metodologia BIM, é necessário saber que o estudo de caso em questão concentra-se em um empreendimento residencial multifamiliar de alto padrão. Assim, a coleta de dados baseou-se nos parâmetros físicos e legais que condicionam a logística de um canteiro.

O objeto de estudo trata-se de uma edificação vertical que conta com 36 lajes, entre elas térreo, garagens, apartamentos tipos, cobertura, casa de máquinas, barrilete e reservatório. Logo, a complexidade da estrutura e o cronograma de execução exigem um fluxo produtivo constante, tanto de materiais como de mão de obra, justificando a relevância da utilização da metodologia BIM para compatibilização espacial. Além disso, é válido ressaltar que o projeto está inserido em uma malha urbana densa, caracterizando uma região central da cidade com um terreno que apresenta dimensões restritas, com divisas confinantes a edificações existentes e via pública de alto fluxo, limitando áreas de estoque e as manobras de veículos pesados.

Para o desenvolvimento da modelagem tridimensional do canteiro utilizou-se, para embasamento, os projetos arquitetônico e estrutural em formato digital, a fim de gerar uma base para compatibilização entre os modelos e melhorar a criação do layout tridimensional e a simulação de diferentes fases durante o processo construtivo.

Um fator primordial que deve ser levado em consideração são as restrições logísticas e espaciais, como as dimensões dos principais pavimentos de apoio do canteiro, nesse caso térreo e garagem 01, os quais contam com áreas de 812,44 e 924,16 m², respectivamente. Isso corrobora diretamente na necessidade de otimização de equipamentos de carga,

dimensionamento de áreas de vivência e estoque de materiais críticos, como aço, fôrma e alvenaria, com o intuito de atenuar a movimentação excessiva e desnecessária, garantindo um layout de canteiro bem planejado e posicionado.

Somado a isso, a partir da criação virtual do layout, é possível realizar o arranjo e a simulação para divergentes fases da obra, por meio de uma técnica do revit, a qual proporciona a possibilidade de carregar diversos tipos de layout de canteiro em apenas um arquivo 3D, facilitando a análise de como todas as áreas devem ser realocadas conforme o avanço da obra.

3.2 Modelagem tridimensional e simulação de cenários

A modelagem 3D será executada por intermédio da utilização do software Autodesk Revit, no qual torna-se possível, a partir das informações levantadas da obra, elaborar a criação de um modelo confiável e eficiente, possibilitando que os resultados do estudo sejam aplicáveis aos contextos reais da construção civil. Nesse sentido, a modelagem tridimensional do canteiro de obra no revit busca incorporar todos os elementos essenciais que constituem a infraestrutura temporária do canteiro, como áreas de armazenamento e estocagem, espaços de vivência e centrais de produção, baseando-se em um estudo de caso real dessa obra vertical que representa as condições típicas de um layout e o devido dimensionamento de todos os componentes de um canteiro, orientados pela Norma Regulamentadora (NR). Sendo assim, após a modelagem, a amostra proporcionará uma visualização objetiva da alocação espacial dos elementos, além de possibilitar a compatibilização entre diferentes disciplinas, evitando possíveis conflitos entre distintos tipos de projeto.

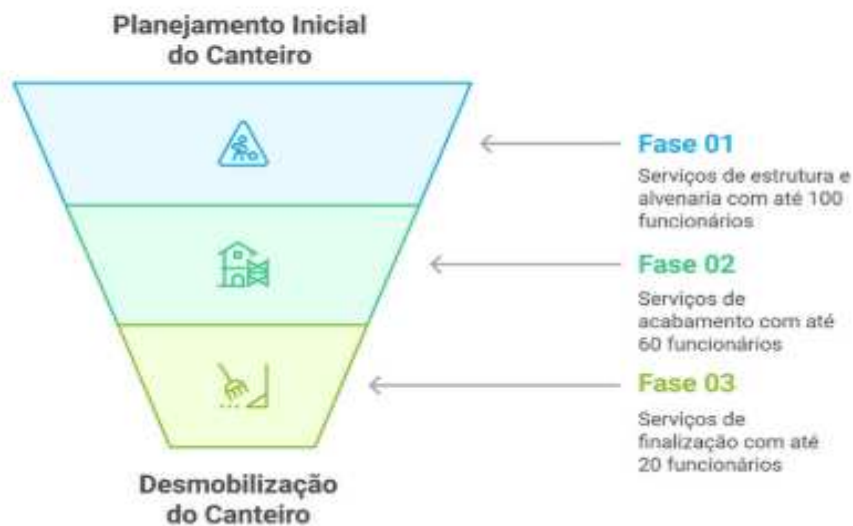
3.2.1 *Simulação de Fases*

Nesse contexto, a modelagem tridimensional foi realizada de modo a sugerir um layout de canteiro que proporcionasse um pleno posicionamento dos elementos presentes na obra e necessários para os serviços em execução. Sob esse viés, é válido mencionar que para o dimensionamento de cada elemento utilizou-se como base técnica a norma NR-18, a qual determina a forma correta de quantificar áreas de vivência, como banheiros, refeitórios, vestiários e áreas de produção, como central de armação e de carpintaria. Todo esse fluxo de planejamento possibilita uma eficiente análise da movimentação, tanto de funcionários como de materiais e serviços, a fim de potencializar sua eficiência e atenuar retrabalhos e desperdícios.

Sabe-se que uma obra apresenta diferentes etapas, como fundação, estrutura e acabamento, cuja necessidade de serviços e armazenamento de materiais sofre variação para cada ciclo construtivo. Nesse sentido, com o intuito de abranger os diferentes períodos da obra, o software autodesk revit dispõe de uma funcionalidade capaz de simular diversas fases que podem compor todo o processo de execução do empreendimento. Assim, optou-se por segmentar a execução do empreendimento em três fases principais de canteiro da obra, como solicitado pelos envolvidos no projeto e também devido ao presente período de atividades a serem executadas na obra em questão, como pode-se observar na figura 8.

Figura 8 – Fases do canteiro de obra

Processo de Gerenciamento de Canteiro de Obras



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA, 2025.

3.2.1.1 Fase 1

A fase 1 tem início após a retirada das escoras do pavimento térreo, dando início às atividades de estrutura, alvenaria, emboço e revestimentos. Os elementos do canteiro foram posicionados estrategicamente para reduzir movimentações e desmobilização durante a execução, contribuindo para a liberação progressiva das frentes de trabalho. Paralelamente, buscou-se manter os estoques de materiais próximos às áreas ativas da obra, sem comprometer o andamento das demais frentes.

O layout desta fase foi concebido para atender cerca de 100 trabalhadores, abrigando, no pavimento garagem 01 ambientes, como sala técnica, vestiários, sanitários, refeitório,

almoxarifado e central de formas. Já no nível térreo, foram alocadas a central de produção de aço, argamassa e elementos usinados.

Como grande parte das estruturas temporárias dessa fase são exclusivas e serão posteriormente desmobilizadas, recomenda-se o uso de fechamentos provisórios adequados. Para as áreas de vivência, como o refeitório, indicam-se tapumes metálicos, de madeira ou ecológicos com tela de delimitação. No caso dos vestiários e sanitários, os fechamentos devem atender às exigências das normas NR-18 e NR-24, com revestimentos laváveis que assegurem condições higiênicas adequadas.

Como o pico previsto para a quantidade de funcionários é de 100 pessoas, o dimensionamento das áreas de vivência, como vestiários e banheiros, abrange, em sua quantidade mínima, 5 lavatórios (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 5 vasos sanitários e mictórios (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 10 chuveiros (capacidade: 1 para cada 10 colaboradores) e 100 armários individuais (capacidade: 1 para cada colaborador), sendo importante salientar que as cabines de vaso sanitário e de chuveiro devem ter uma área mínima de 1,00 e 0,80 m², respectivamente, segundo a NR-24. Além disso, cabe mencionar que a disposição das instalações de vivência foi planejada para controlar o fluxo de funcionários e evitar que estes façam deslocamentos sem o uso adequado de equipamentos de proteção individual, mantendo as condições de segurança. Complementarmente, estabeleceu-se a segregação física entre o bloco sanitário e a área de guarda-volumes, tendo em vista que tal configuração permite o isolamento sistemático do setor de armários durante a jornada de trabalho, restringindo o acesso aos períodos de chegada e saída das equipes. Toda a vedação perimetral e a compartimentação desses ambientes foram executadas mediante o emprego de painéis de madeira (tapumes).

Para o refeitório, considerando um dimensionamento mínimo de 0,8 m²/pessoa, concebeu-se esse espaço com 105 m², 4 mesas de 120x440 cm para 25 colaboradores cada com bancos ao redor, 4 bebedouros, 2 geladeiras, 1 televisão e 2 lavatórios. A estratégia para o posicionamento desse ambiente concentra-se na busca por condições ideais de conforto ambiental e fluidez logística das áreas de produção e estoque de materiais. Para isso, utilizou-se, além do tapume de madeira, o sistema de fechamento por tela, a fim de melhorar a ventilação do local.

Quanto às áreas de vivência mais associadas ao administrativo da obra tem-se a sala técnica, cujo dimensionamento é dado por uma sala de engenharia com 4 mesas, 4 cadeiras, 1 bebedouro e 1 lixeira. Outrossim, não foi observado a necessidade de instalações sanitárias, priorizando o uso dos banheiros e vestiários já existentes. O posicionamento desse ambiente foi

pensado com o objetivo de possibilitar uma visão sistêmica das áreas de produção, além de possíveis verificações de recebimento de material.

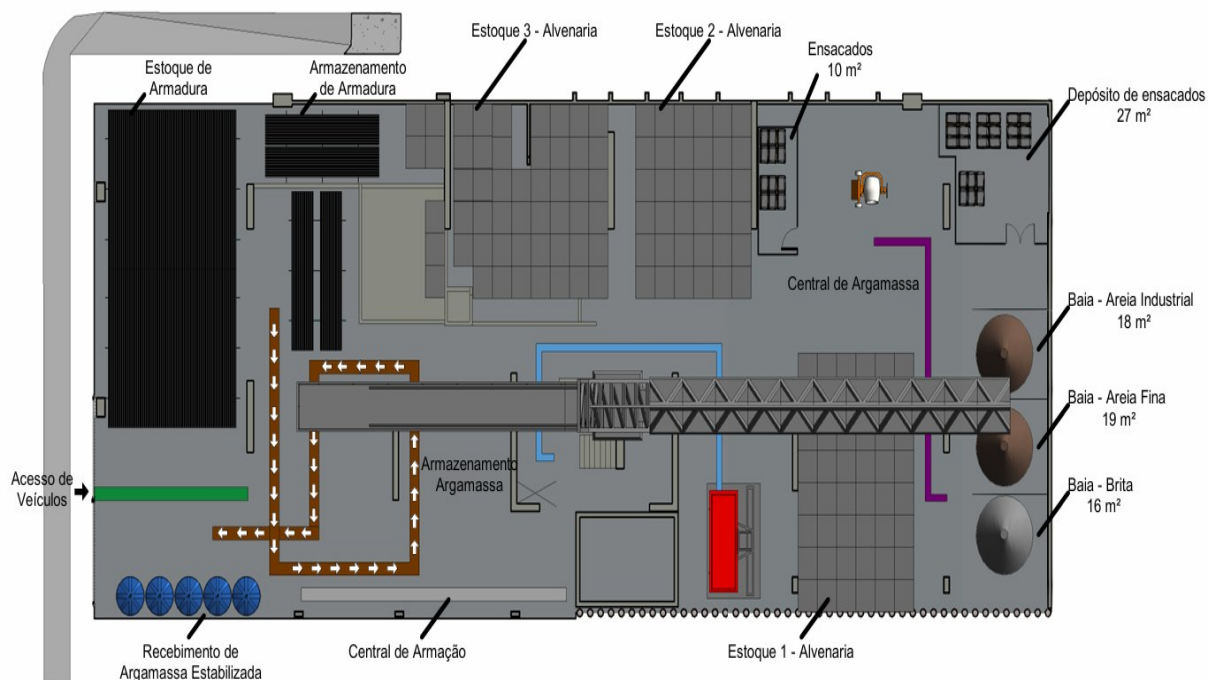
Por fim, cabe mencionar que devido à variedade de atividades e à limitação espacial para armazenagem e apoio logístico, esta fase foi subdividida em dois subperíodos (1.1 e 1.2), permitindo uma organização mais eficiente dos recursos e espaços, conforme será detalhado nos tópicos seguintes.

Dessa forma, é possível verificar a modelagem desenvolvida, tanto em formato bidimensional como tridimensional.

3.2.1.2 Fase 1.1

Essa etapa do canteiro, denominada de 1.1, abrange principalmente as atividades de estrutura e alvenaria, assim como pode-se observar nos materiais armazenados no layout de canteiro modelado abaixo. O layout prioriza o posicionamento estratégico dos eixos de transporte vertical (gruas e elevadores) e áreas de estoque de agregados, aço e fôrmas. A configuração espacial visa minimizar o deslocamento horizontal das equipes de carpintaria e armação, garantindo a fluidez necessária para a manutenção do ciclo de concretagem e o início da vedação em alvenaria.

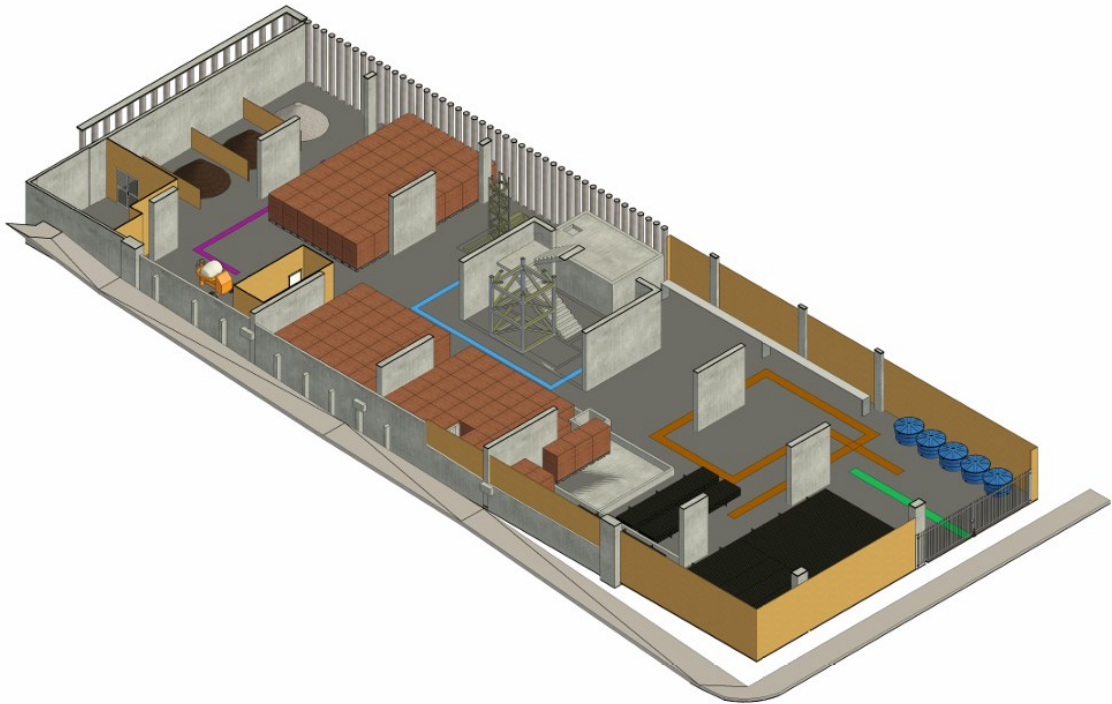
Figura 9 – Térreo da edificação (Fase 1.1)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

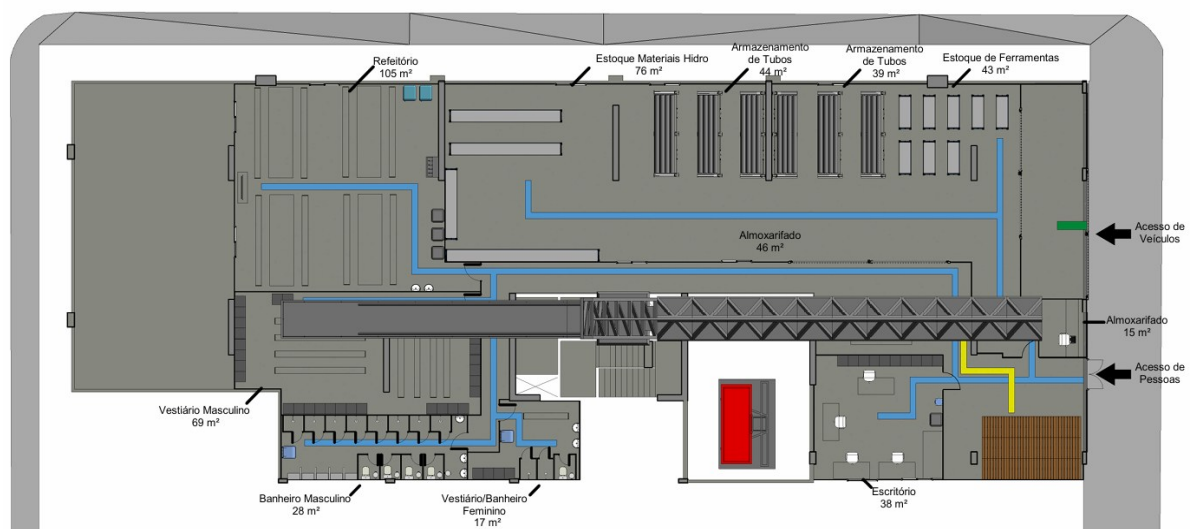
A vista isométrica em 3D, como mostra a figura 10, é um dos maiores ganhos proporcionados pela metodologia BIM. Essa representação permite compreender a volumetria, hierarquia e relações espaciais entre os elementos, auxiliando na tomada de decisões por parte dos gestores da obra, mesmo sem profundo conhecimento técnico em leitura de plantas.

Figura 10 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 1.1)



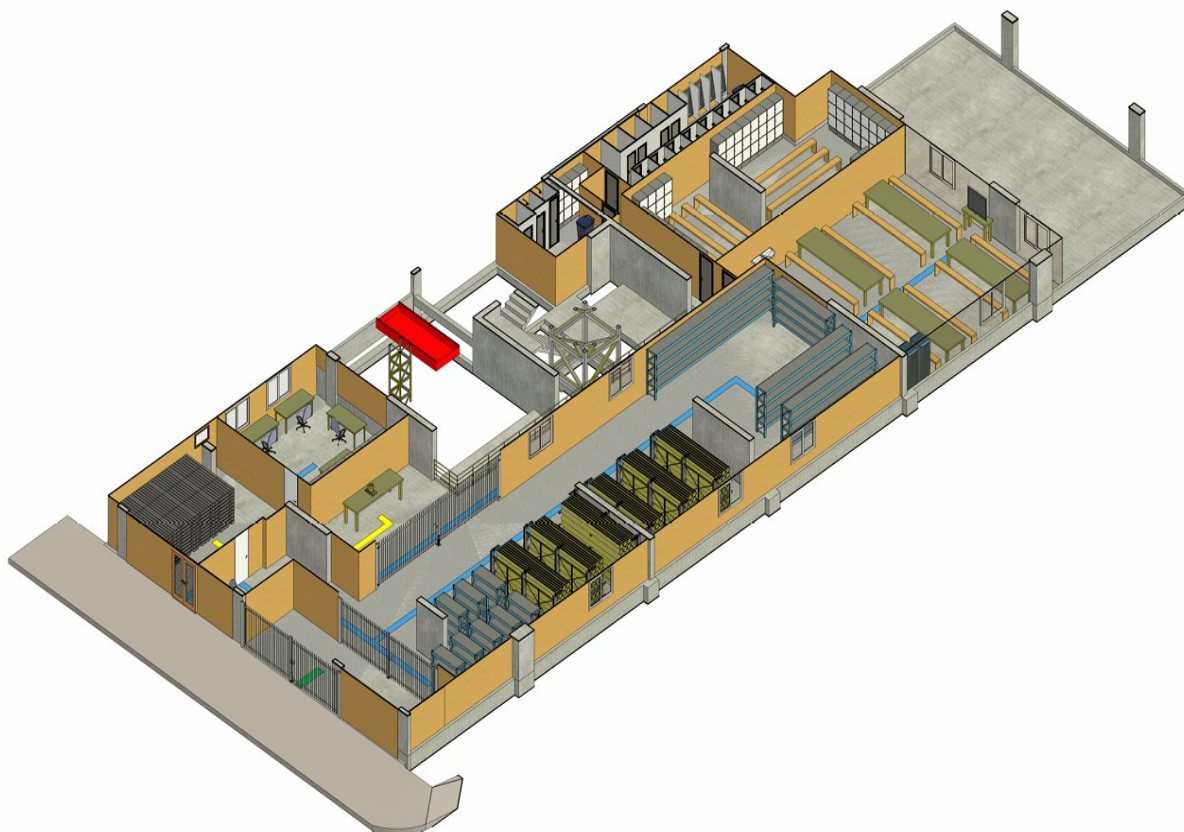
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 11 – 1º Pavimento da edificação (Fase 1.1)



Fonte: elaborado pelo autor, 2025.

Figura 12 – Visualização do modelo 3D do 1º pavimento da edificação (Fase 1.1)

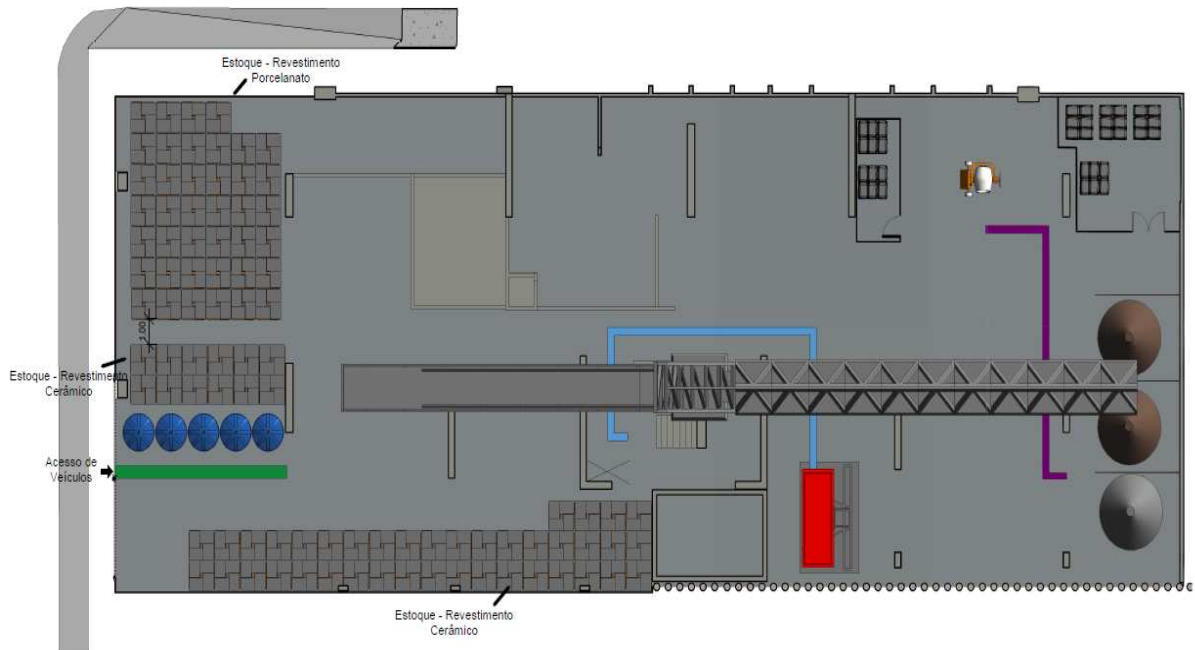


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2.1.3 Fase 1.2

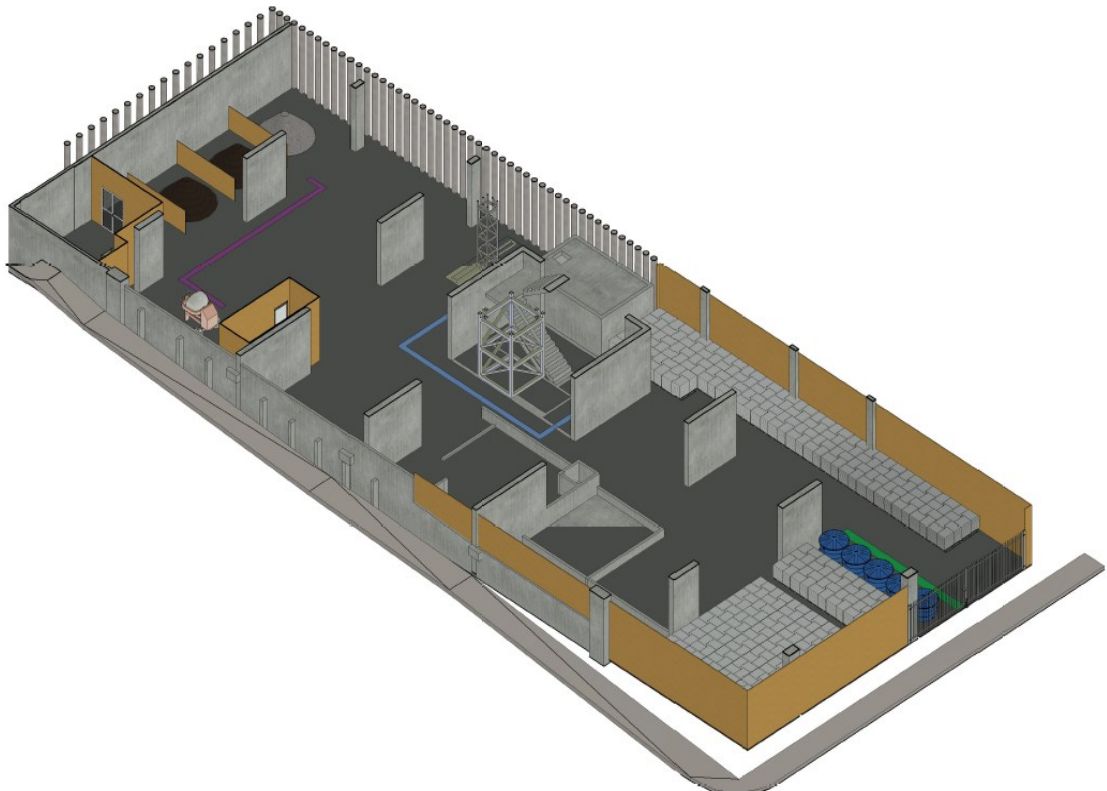
Com o avanço da obra para serviços de instalações, forros, esquadrias, acabamentos e revestimento, o layout sofreu uma readequação logística quanto ao armazenamento de materiais. Nesse sentido, as áreas anteriormente ocupadas por materiais pesados são reestruturadas para o armazenamento de componentes de alta vulnerabilidade e menor volume, exigindo maior controle de inventário e proteção contra intempéries.

Figura 13 – Térreo da edificação (Fase 1.2)



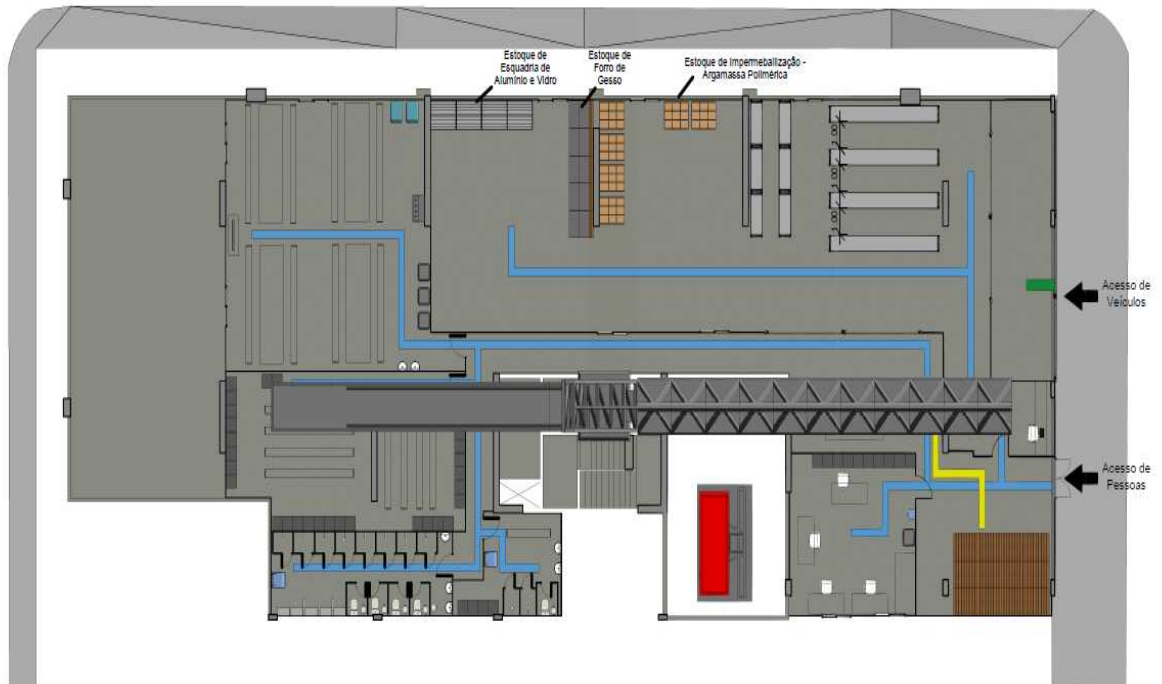
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 14 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 1.2)



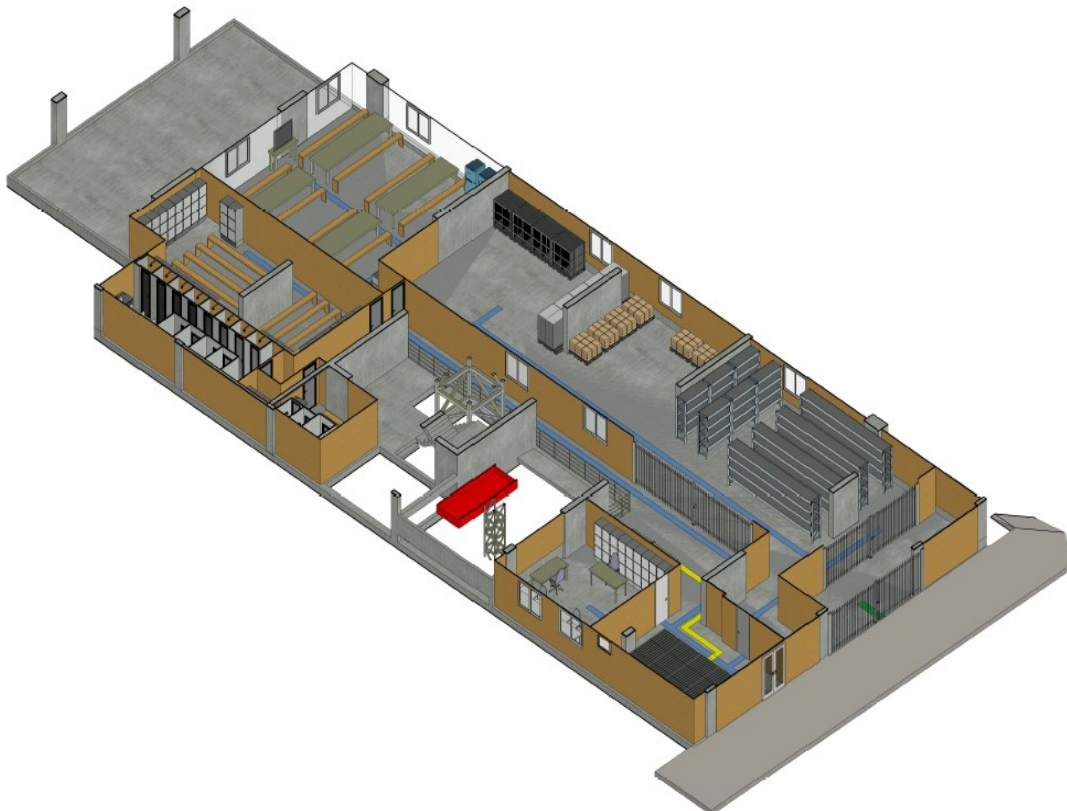
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 15 – 1º Pavimento da edificação (Fase 1.2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 16 – Visualização do modelo 3D do 1º pavimento da edificação (Fase 1.2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2.1.4 Fase 2

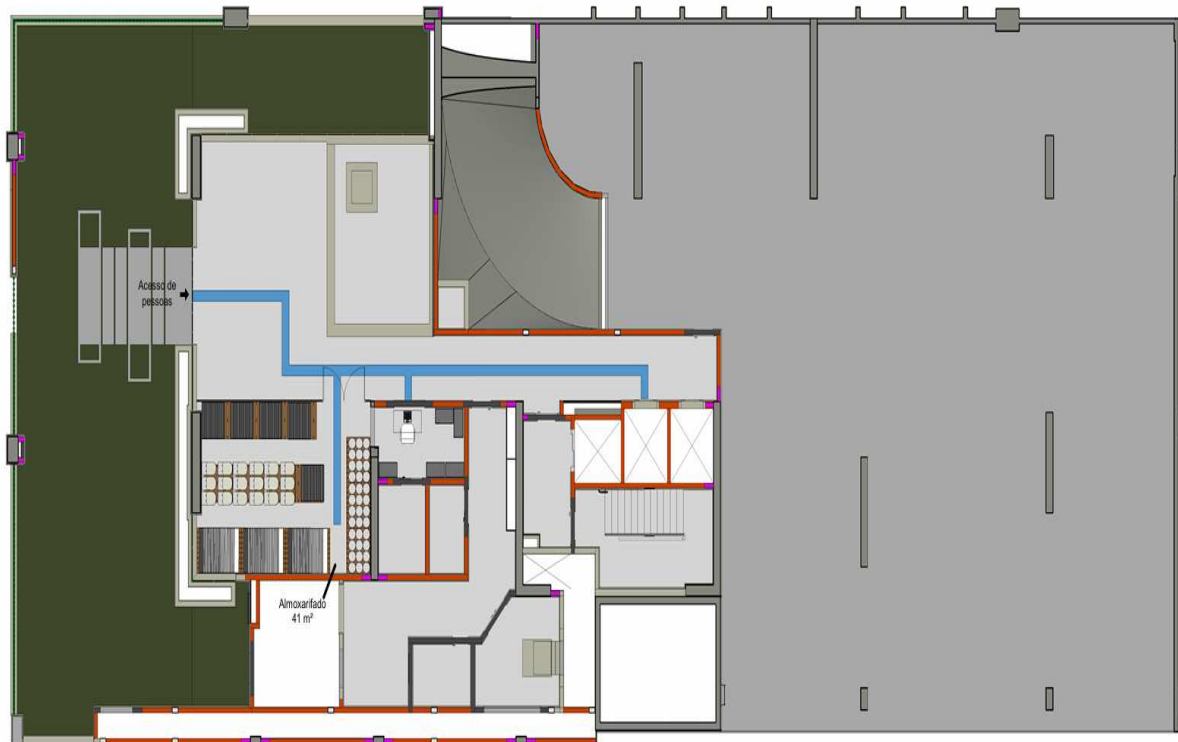
A fase dois foi pensada visando os últimos seis meses da obra, isto é, etapa esta que compreende os serviços de acabamentos e a finalização de outras atividades. Além disso, dimensionou-se essa fase para atender um pico de 60 colaboradores, sendo necessários os elementos das áreas de vivência situadas no pavimento lazer e o almoxarifado no pavimento térreo. O posicionamento desses locais foi pensado tendo a consciência do aproveitamento de áreas já executadas que contam com alvenaria e instalações prontas, facilitando a otimização dos movimentos que serão realizados na obra e melhorando o fluxo logístico e operacional.

A lógica do dimensionamento das áreas de vivência para essa fase, tendo em vista a diminuição da quantidade de funcionários, foi semelhante à da fase anterior, contudo, é válido mencionar que a quantidade mínima para essa etapa é de 3 lavatórios (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 3 vasos sanitários e mictórios (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 6 chuveiros (capacidade: 1 para cada 10 colaboradores) e 60 armários individuais (capacidade: 1 para cada colaborador).

O refeitório teve seu local de disposição alterado, haja vista que nessa fase os ambientes previstos em projetos já estão com as alvenarias de vedação levantadas, sendo necessária uma nova alocação para esse ambiente. Nesse sentido, a nova área é de 58 m², a qual dispõe de 2 mesas de 120x440 cm para 25 colaboradores cada com bancos ao redor, 4 bebedouros, 2 geladeiras, 1 televisão e 2 lavatórios. É válido mencionar que, para atender às necessidades de ocupação, optou-se por dividir o turno de almoço em dois, cujo horário varia de 11:00 às 13:00, garantindo as devidas condições de acomodação. Assim, a otimização do canteiro não se restringe apenas ao layout físico, mas também à gestão operacional, no qual o escalonamento de turnos permite reduzir a área construída necessária (instalações provisórias), liberando mais espaço para a produção ou estoque, por exemplo.

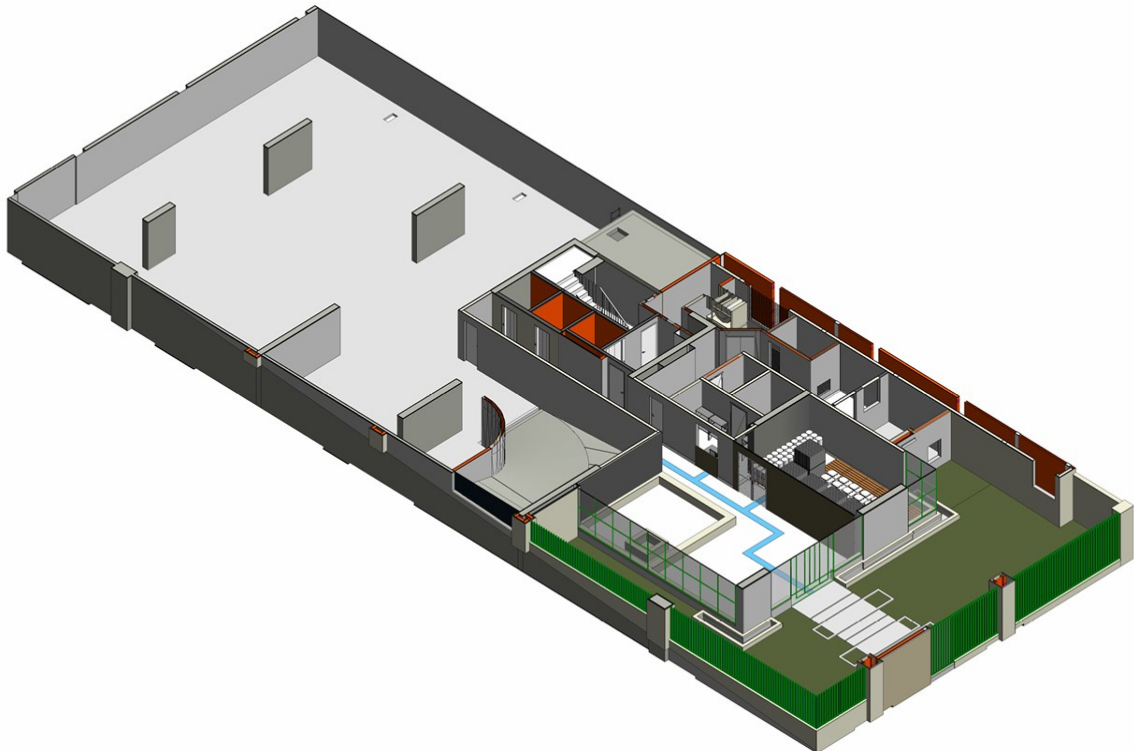
A sala técnica, formada pela engenharia, possui, semelhante à fase anterior, os mesmos componentes e segue o mesmo raciocínio de posicionamento, com o intuito de facilitar o controle de serviços, a observação do recebimento de materiais e o fluxo logístico do canteiro. Veja-se:

Figura 17 – Térreo da edificação (Fase 2)



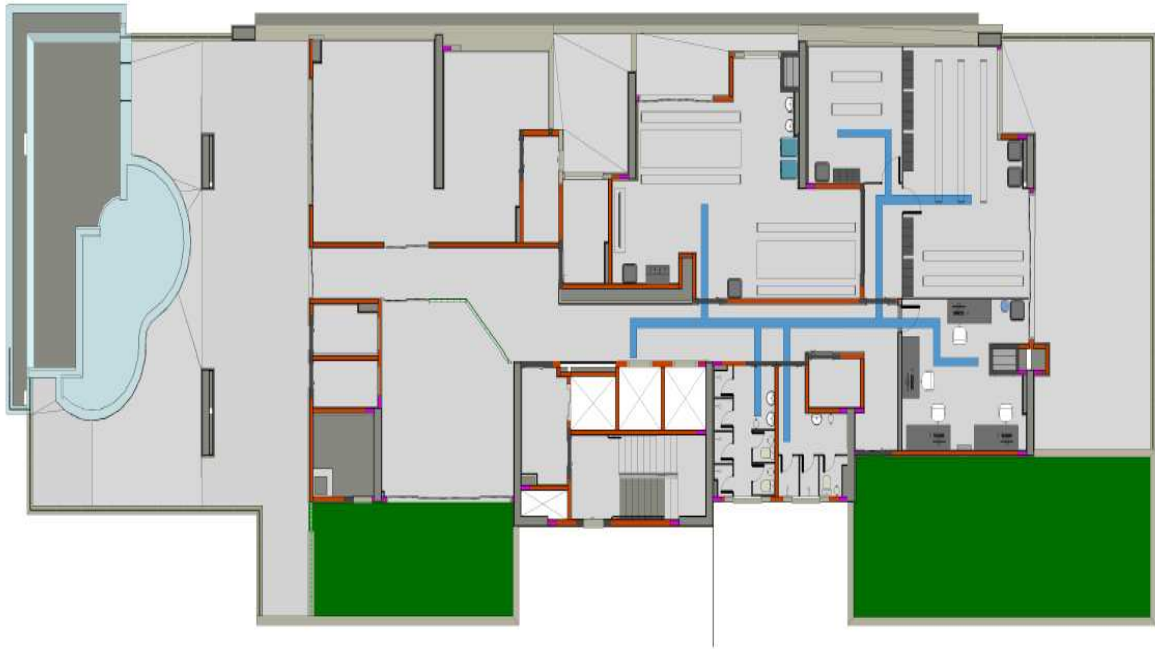
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 18 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 19 – Pavimento lazer da edificação (Fase 2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 20 – Visualização do modelo 3D do pavimento lazer da edificação (Fase 2)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.2.1.5 Fase 3

Esta última fase compreende os últimos dois a três meses da obra, considerando que alguns poucos serviços estão sendo finalizados. Nesse sentido, essa etapa engloba e acompanha o término da obra, no qual é feita toda a desmobilização do canteiro para entrega do empreendimento, levando em consideração que esse layout não deve gerar um impacto significativo para o prédio.

Utilizando-se algumas instalações das áreas de vivência da fase anterior e considerando um pico menor de 20 pessoas, o intuito é evitar a interferência com a finalização dos serviços que estão sendo executados e uma imediata desmobilização, possibilitando a certeza de que, caso ocorra algum atraso ou imprevisto, a obra tenha a plena condição de comportar os colaboradores. Contudo, caso seja considerado apenas esse efetivo e a condição de entrega do empreendimento, deve-se realizar a diminuição dos ambientes já existentes.

A infraestrutura sanitária dessa etapa foi viabilizada por meio de unidades químicas autônomas, separadas por gênero, priorizando a agilidade logística em função da leveza e facilidade de deslocamento desses módulos. Sob esse viés, o vestiário foi alocado em container metálico, proporcionando, uma solução versátil e funcional, condizente com as demandas operacionais do estágio conclusivo da obra. Nesse sentido, deve-se salientar que, para essa fase, as quantidades mínimas atendidas correspondem à 1 lavatório (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 1 vaso sanitário (capacidade: 1 para cada 20 colaboradores), 2 chuveiros (capacidade: 1 para cada 10 colaboradores) e 20 armários individuais (capacidade: 1 para cada colaborador).

O refeitório foi disposto, seguindo os critérios de planejamento eficiente e confortável, de modo a acomodar o quantitativo operacional presente nessa fase, cujo dimensionamento foi operado com uma área de 13 m², 10 cadeiras, 4 mesas e 1 bebedouro. Nesse contexto, a lógica de posicionamento desse ambiente seguiu a linha de raciocínio da fase 2 no que tange à divisão de horários por turno, das 11:00 as 13:00, garantindo a acomodação de todos.

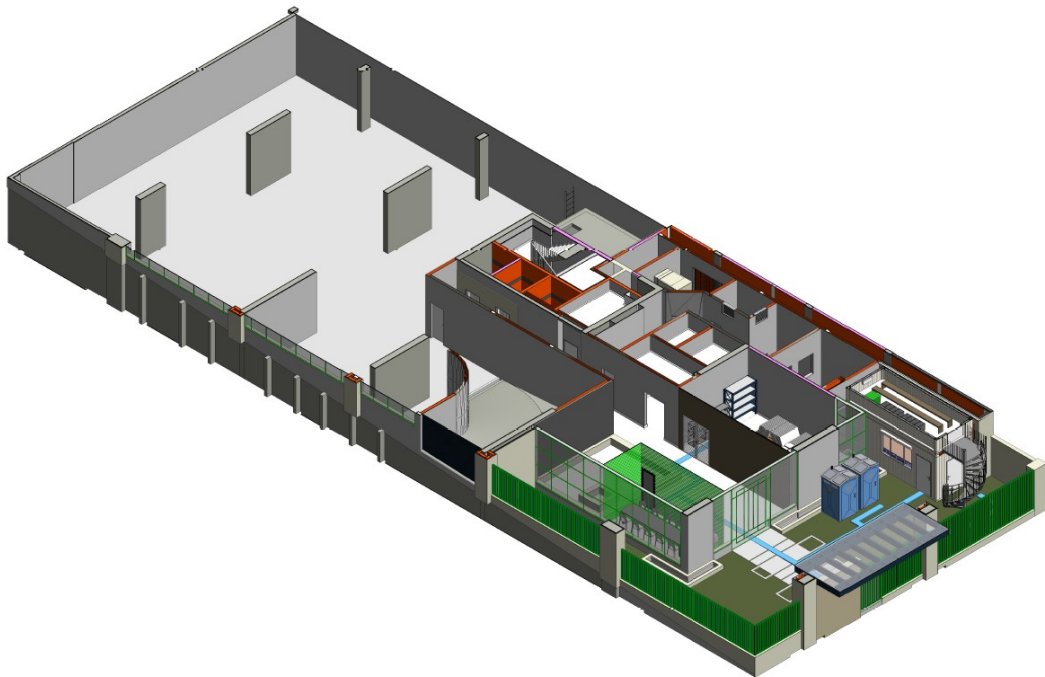
A sala de engenharia, diferentemente das etapas anteriores, foi alocada em um container com área de 13 m², a fim de garantir um ambiente funcional e dinâmico para essa última fase da obra. O ambiente conta com uma mesa e 8 cadeiras, além de 1 bebedouro e 1 lixeira.

Figura 21 – Térreo da edificação (Fase 3)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Figura 22 – Visualização do modelo 3D do térreo da edificação (Fase 3)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.3 Fluxo produtivo e de abastecimento

O posicionamento de cada elemento presente no canteiro foi pensado de modo a minimizar caminhos desnecessários, a fim de gerar otimização para cada processo executado. Para isso, aplicaram-se os princípios de logística de abastecimento que visam a minimização de transportes de materiais e deslocamentos improdutivos de mão de obra, visando uma estratégia

de setorização que busca gerar eficiência máxima do espaço disponível. A utilização do modelo BIM permitiu a simulação de diferentes cenários de layout, possibilitando a identificação de interferências físicas e logísticas antes da execução (Costa, 2018). Assim, o fluxo produtivo segue a sequência disposta na figura 23.

Figura 23 – Processo de gerenciamento de materiais no canteiro de obras



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio de IA, 2025.

Além disso, o fluxo de deslocamento foi implantado juntamente com as modelagens de cada pavimento e seu respectivo tipo (figuras 09 a 22), os quais foram divididos em pessoas, veículos/maquinário, produção de fôrmas, armadura e argamassa. Para cada sistema foi adotado uma coloração que traça a trajetória daquele tipo de fluxo, exemplificado a partir da figura 24, como pode-se observar. Assim, o detalhamento e critério de posicionamento desses sistemas será explicado posteriormente.

Figura 24 – Denominação dos fluxos de deslocamento no canteiro

LEGENDAS DE FLUXOS

█	Fluxo de Pessoas
█	Fluxo de Veículos/Maquinário
█	Fluxo Produtivo Formas
█	Fluxo Produtivo Armadura
█	Fluxo Central de Betoneira

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.3.1 Fase 1

O dimensionamento do almoxarifado nessa etapa do empreendimento foi pensado e previsto para um almoxarife e um auxiliar, no qual o ambiente conta com 1 mesa, 2 cadeiras e 17 prateleiras. O almoxarifado foi estrategicamente confinado em um compartimento adjacente

ao escritório administrativo, posicionado nas imediações do acesso principal do canteiro. Além disso, a setorização foi planejada para que o fluxo natural do colaborador, entre o vestiário e o elevador cremalheira, atravesse o ponto de distribuição, agilizando a retirada de ferramentas e materiais miúdos. Esse arranjo funcional não apenas otimiza o tempo de deslocamento, como também institui um ponto central de comunicação para orientações técnicas e o controle sistemático do fluxo de pessoal. Complementarmente, como a fase 1 foi dividida em duas subetapas devido à densidade do cronograma operacional, tem-se que na subetapa 1.1 o almoxarifado prioriza a guarda de ferramentas e o estoque de tubulação, servindo como base para a pré-montagem de kits de instalação e execução da estrutura. Paralelamente, o estoque de materiais pesados está destinado ao armazenamento de blocos de alvenaria e aços utilizados na armadura da estrutura. Já na subetapa 1.2, o layout é remodelado para abranger atividades de componentes de acabamento, como esquadrias, bancadas e forros e o estoque de materiais pesados passa a ser de revestimentos cerâmicos e porcelanatos, os quais foram dimensionados para gerar um estoque para cada três pavimentos.

A central de armação prevê uma quantidade mínima de 4 ferreiros, 2 auxiliares de ferreiro e 2 mesas de corte e dobra de aço. Nesse sentido, quanto à disposição e estudo do posicionamento desse ambiente segue a lógica de facilitar o deslocamento horizontal entre a montagem da armadura, o estoque e o recebimento de aço na obra.

Por fim, para a atividade de execução de fôrma, realizada na central de carpintaria, dimensionou-se, minimamente, para 4 carpinteiros e 2 auxiliares de carpinteiro com duas mesas de montagem. Semelhantemente à central abordada antes, foi planejada uma proximidade entre o estoque e o recebimento de madeira com o local de produção das fôrmas, visando a redução de caminhos desnecessários e um ganho no fluxo logístico para essa tarefa.

3.3.2 Fase 2

Para essa etapa intermediária, há a diminuição na quantidade de itens armazenados, levando em consideração que a obra está em seus seis últimos meses e muitos serviços já foram finalizados. Assim, permanece o almoxarife, com 1 mesa e 2 cadeiras, entretanto o número de prateleiras diminui para apenas cinco. O raciocínio de posicionamento segue o mesmo da fase anterior, situando-se próximo à portaria, o que facilita o controle de recebimento e fiscalização de materiais, e do elevador cremalheira devido ao ganho de otimização do fluxo de distribuição dos insumos utilizados, como ferramentas e pequenos equipamentos, até seus devidos locais de uso.

3.3.3 Fase 3

Encerrando o ciclo de execução do empreendimento, especificamente em seus três últimos meses de serviço, a fase três conta com o mesmo efetivo das outras etapas, sendo 1 almoxarife, 1 auxiliar, 2 cadeiras e 1 mesa, mas reduz o número de prateleiras para apenas quatro. Paralelamente, a estratégia de posicionamento segue o raciocínio da fase anterior, mantendo a localização com a ressalva de que um dos ambientes precisou ser desconsiderado devido a necessidade de execução de alguns serviços, uma vez que este é o último período da obra.

3.4 Análise da implementação

É possível realizar algumas análises que possibilitarão avaliar a eficiência do planejamento e os impactos da organização espacial do layout de canteiro, utilizando a metodologia BIM. Dentre as principais análises, pode-se mencionar a otimização dos elementos e dos fluxos, propiciando o reconhecimento de possíveis problemas logísticos, a fim de propor alternativas que melhorem essa questão.

3.4.1 Organização Espacial

Os parâmetros de análise para otimização espacial foram feitos a partir do modelo paramétrico desenvolvido, focado em duas frentes principais: extração dos quantitativos da obra e a análise da organização espacial. O software utilizado para essa questão foi o *Autodesk Revit*, cuja operação possibilitou o detalhamento de todos os ambientes dispostos na modelagem, a qual seguiu critérios rigorosos de parametrização, transformando o modelo geométrico em um banco de dados estruturado. Nesse sentido, é válido mencionar que cada elemento modelado recebeu um vínculo de informação, o qual possibilita gerar quantitativos relacionados acerca de volumetria, para organização espacial, por exemplo.

Dessa forma, utilizando o comando ambiente, responsável por criar uma área delimitada por elementos do modelo, como paredes, pisos, forros ou linhas de separação, é possível segmentar o canteiro de acordo com o planejamento e extrair informações de tais ambientes, de forma automática, como pode-se observar na figura 25.

Figura 25 – Extração de quantitativos dos ambientes do canteiro

The screenshot shows the Revit interface with a table titled "<Tabela de Ambientes - Layout de Canteiro>". The table has three columns: A (Nome), B (Nível), and C (Área). The data is as follows:

A	B	C
Nome	Nível	Área
Depósito de ensacados	Térreo - Fase 1	27
Ensacados	Térreo - Fase 1	10
Baia - Área Industrial	Térreo - Fase 1	18
Baia - Área Fina	Térreo - Fase 1	19
Baia - Bita	Térreo - Fase 1	16
Estoque de aço 1	Térreo - Fase 1	99
Estoque de aço 2	Térreo - Fase 1	78
Central de argamassa	Térreo - Fase 1	45
Alvenaria 1	Térreo - Fase 1	144
Arm. Argamassa Estab	Térreo - Fase 1	14
Central de armação	Térreo - Fase 1	46
Alvenaria 2	Térreo - Fase 1	59
Escritório	Pavimento 1	38
Refeitório	Pavimento 1	105
Almoxarifado	Pavimento 1	15
Vestibulo/Banheiro Feminino	Pavimento 1	17
Almoxarifado - Estoque de Ferramentas	Pavimento 1	43
Armazenamento de tubos	Pavimento 1	39
Armazenamento de tubos	Pavimento 1	44
Estoque Materiais Hidro	Pavimento 1	76
Almoxarifado	Pavimento 1	46
Vestibulo Masculino	Pavimento 1	89
Banheiro Masculino	Pavimento 1	28
Estoque de compensado	Pavimento 1	17
Central de carpintaria	Pavimento 1	19

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Do mesmo modo, é possível realizar esse estudo quantitativo para outros elementos de interesse analítico, como divisórias, portas e janelas, cujo comando criar tabela possibilita gerar os quantitativos de materiais para cada componente separadamente e com informações escolhidas, como pavimento, características de insumo, quantidade e, caso necessário, algum comentário específico.

Figura 26 – Extração de quantitativos de fechamentos do canteiro

The screenshot shows the Revit interface with a table titled "<Tabela de Paredes - Layout de Ca...>". The table has four columns: A (Família e tipo), B (Restrição da base), C (Área), and D (Comentários). The data is as follows:

A	B	C	D
Família e tipo	Restrição da base	Área	Comentários
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Térreo - Fase 1	14 m²	Baia
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo - Fase 1	41 m²	Depósito de Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo - Fase 1	53 m²	Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo - Fase 1	183 m²	Esterno
Parede básica: Alvenaria Tij. Ceramico + Revest. e+4	Pavimento 1	57 m²	Chuveiros/Sanitários
Parede básica: DIVISÓRIA 5 CM	Pavimento 1	3 m²	Mictórios
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	115 m²	Almoxarifado
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	29 m²	Banheiro Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	54 m²	Escritório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	18 m²	Estoque Compensado
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	59 m²	Refeitório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	82 m²	Vestibulo Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	38 m²	Vestibulo/Banheiro Feminino
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Pavimento 1	18 m²	Almoxarifado
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Pavimento 1	22 m²	Entrada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

3.4.2 Fluxo Logístico

A realização da análise do fluxo logístico também foi utilizando a modelagem, a partir de parâmetros pré-identificados e técnicas disponibilizadas pelo software *Autodesk Revit*. Nesse contexto, tornou-se possível traçar trajetórias pré-estabelecidas pelos envolvidos da obra, de acordo com a necessidade da fase, e obter informações importantes de forma automática aplicando o comando caminho de deslocamento (*Travel Path*), o qual está configurado para aplicar algoritmos que simulam a busca de itinerários reais de movimentação para encontrar a rota mais curta entre dois pontos, considerando elementos que atuam como obstáculos configurados no modelo, como portas, paredes ou objetos e prevendo o desvio destes.

A extração de dados brutos foi convertida em indicadores de desempenho logístico, fundamentados em três variáveis principais fornecidas pelo software:

I. Distância (m): utilizada para medir a extensão real dos percursos entre os estoques de materiais, frentes de trabalho, elevadores e áreas de vivência;

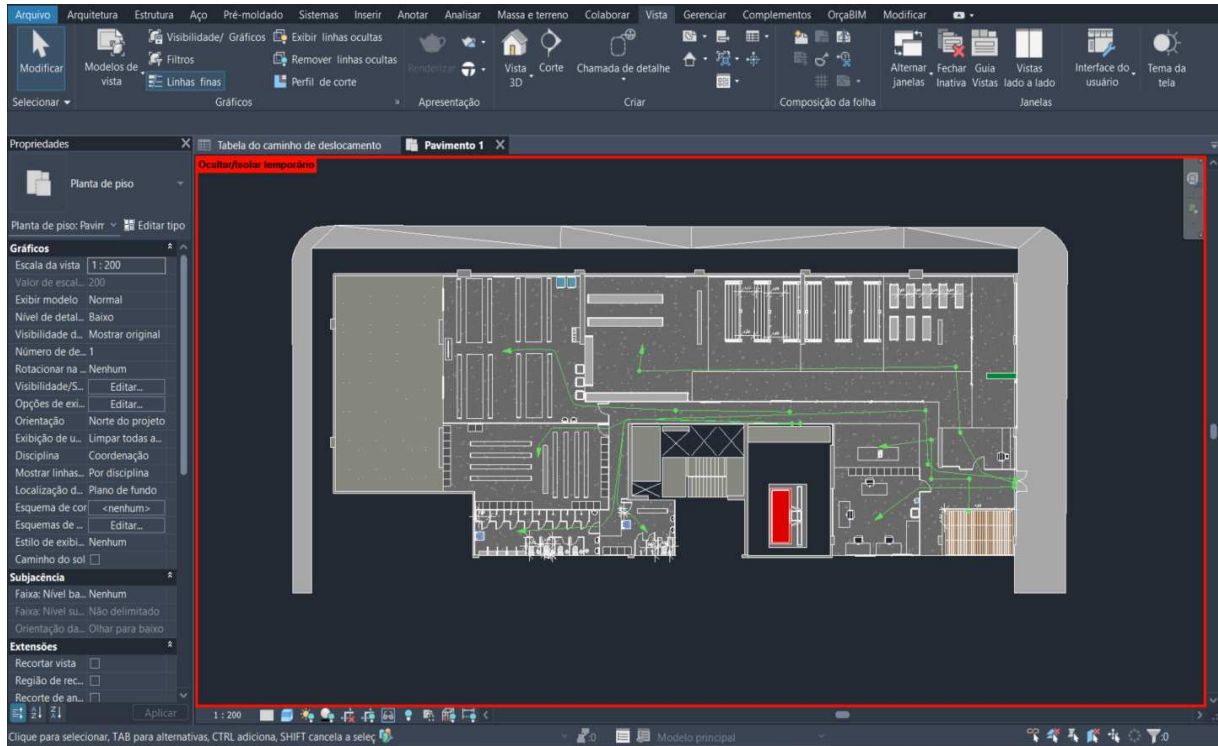
II. Velocidade (m/s): parametrizada de acordo com o perfil do fluxo (pedestre, produção e veículo), permitindo simular diferentes cenários operacionais. É válido salientar que, para garantir a precisão dos indicadores logísticos, as velocidades utilizadas são distintas a depender do tipo de fluxo, sendo divididas em produção, pessoas e veículos, cujos valores adotados são 1 km/h, 4,8 km/h e 3 km/h, respectivamente. Nesse sentido, a velocidade de produção justifica-se pelo transporte manual de carga, sendo limitado pelo peso, fadiga do operador e obstáculos físicos e, conseqüentemente, a redução de marcha normal para esse valor (Tommelein, 1997). Já para o fluxo de pessoas, o valor condiz com o padrão universal para a velocidade de caminhada humana normal em terreno plano (Fruin, 1971). Por fim, a velocidade de fluxo de veículos baseia-se em diretrizes de segurança do trabalho, de acordo com a NR-18, visto que em áreas de canteiro de obra, a velocidade deve ser reduzida para permitir o tempo de reação e frenagem. Entretanto, é válido mencionar que o software não permite a mudança de velocidade.

III. Tempo (s): o software calcula automaticamente esse resultado pela relação entre a distância e a velocidade, servindo como base para o cálculo dos indicadores.

Seguidamente, simulou-se as rotas de fluxo, solicitadas pela sala técnica da obra, as quais foram consideradas para análise do estudo logístico, como pode-se observar na figura 27, por meio do comando do caminho de deslocamento. Além disso, é válido salientar que as rotas foram definidas, a partir da função operacional dos ambientes modelados, considerando os principais deslocamentos de materiais, pessoas e veículos necessários à execução dos serviços

presentes na fase analisada, priorizando fluxos entre áreas de estoque e produção, centrais produtivas e equipamentos de transporte vertical, de entrada e saída de materiais no canteiro e de circulação interna de trabalhadores.

Figura 27 – Aplicação do caminho de deslocamento no software



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Assim, após traçar as rotas, é possível extrair as informações mencionadas anteriormente para cada rota (representada pelos caminhos na cor verde na figura 27), a partir do comando “criar tabela/quantidade” no revit. Essa etapa garante maior precisão geométrica em comparação com medições bidimensionais, conforme destacado por Eastman et al. (2011), ao evidenciar o potencial do BIM para análises espaciais integradas.

Figura 28 – Extração de quantitativos de caminhos de deslocamentos

Nível	Comprimento	Tempo	Velocidade	Percurso
Térreo - Fase 1	14,49 m	10,8	4,8	Baio de areia – Central de argamassa
Térreo - Fase 1	18,02 m	13,4	4,8	Cremalheira – Escada
Térreo - Fase 1	18,64 m	13,9	4,8	Estoque de aço – Central de armação
Térreo - Fase 1	8,10 m	6,0	4,8	Entrada de veículos
Pavimento 1	10,95 m	8,2	4,8	Entrada – Escritório
Pavimento 1	11,66 m	8,7	4,8	Estoque Compensado – Central de carpintaria
Pavimento 1	35,30 m	25,3	4,8	Entrada – Almoçafório
Pavimento 1	23,66 m	17,6	4,8	Cremalheira – Refeitório
Pavimento 1	40,27 m	30,0	4,8	Entrada – Vestiário
Pavimento 1	26,07 m	19,4	4,8	Cremalheira – WC MASC
Pavimento 1	21,62 m	16,1	4,8	Cremalheira – WC/Vestiário FEM
Térreo - Fase 1	12,74 m	9,5	4,8	Central de argamassa – cremalheira
Térreo - Fase 1	12,95 m	9,7	4,8	Central de armação – Aço para içamento

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

De posse dessas informações, foram calculados indicadores, com o objetivo de avaliar a contribuição da metodologia BIM no planejamento do layout de canteiro. Nesse contexto, é válido ressaltar que esses indicadores de desempenho logístico serão calculados a partir de adaptações da literatura técnica, considerando as características específicas do estudo de caso, a disponibilidade de dados e o uso do modelo BIM como ferramenta de apoio. Assim, as adaptações visam garantir coerência conceitual, reprodutibilidade e a adequação ao contexto da obra analisada.

3.4.2.1 Distância Média Ponderada de Transporte

Representando a distância média efetivamente percorrida, considerando a frequência de utilização de cada fluxo, trata-se de um indicador utilizado para avaliar a eficiência espacial do layout de canteiro (Tommelein, 1992; Formoso, 2001), cuja formulação utilizada é:

$$DMPT = \frac{\sum (d_i * n_i)}{\sum n_i} \quad (1)$$

Em que:

d_i = distância do percurso (m);

n_i = número de viagens do percurso no período analisado.

Os valores atribuídos à quantidade de viagens (n_i) permitem representar de forma mais realista o esforço logístico associado a cada fluxo, evitando que trajetos pouco utilizados tenham o mesmo peso daqueles que concentram grande parte da movimentação diária do canteiro. Nesse sentido, considerando a inexistência de registros reais de transporte interno da obra analisada, o número de viagens foi estimado com base na quantidade de materiais, no ritmo de execução dos serviços da obra e a forma de transporte presente no canteiro e do horizonte temporal de análise, definido como um período médio de 30 dias, representativo de um ciclo operacional da fase 1 da obra, conforme recomendado pela literatura técnica para estudos acadêmicos e análises preliminares de planejamento (Souza, 2006; Tommelein, 1997).

O período de 30 dias foi adotado como janela temporal de referência, por representar um intervalo suficientemente longo para suavizar variações pontuais de consumo, representar a rotina operacional e permitir a utilização de médias diárias estáveis. Assim, os valores de n_i apresentados na tabela de percursos representam médias diárias, e não valores absolutos por dia específico. Por exemplo, um valor de 1 viagem/dia indica que, ao longo dos 30 dias, o percurso é utilizado aproximadamente 30 vezes no total, enquanto um valor de 2 viagens/dia corresponde a 60 deslocamentos no período analisado.

Tabela 02 - Percursos adotados para cada rota de fluxo do canteiro de obra

Rota	Percurso	(n_i)	Justificativa
R1	Baia de areia → Central de argamassa	2	Material de consumo contínuo e diário, utilizado ao longo de toda a jornada de trabalho.
R2	Estoque de aço → Central de armação	1	Ocorre de forma sequencial e por etapas, não sendo contínuo ao longo de todo o dia. Assim, foi adotada uma frequência média de uma viagem diária.
R3	Entrada de veículos (térreo)	3	Representa a logística externa de abastecimento, incluindo recebimento de materiais diversos, mas que não são simultâneos e, em geral, possuem programações definidas.
R4	Central de argamassa → Cremalheira	3	Apresenta alto giro e necessidade constante de transporte vertical, justificando uma frequência elevada.
R5	Central de armação → Aço para içamento	1	Associado ao envio de armaduras prontas para içamento, atividade que ocorre de forma programada e não contínua.
R6	Estoque Compensado → Central carpintaria	1	É um material reutilizável e de baixa reposição rotineira, mas com ajustes diários.
R7	Entrada de veículos (pav.1)	2	O almoxarifado concentre materiais diversos, mas deve-se considerar que muitos insumos são de pequeno volume.
R8	Estoque de alvenaria 1 --- cremalheira	2	Apresentam consumo regular, porém não contínuo, sendo transportados conforme o avanço das frentes de serviço.
R9	Estoque de alvenaria 2 --- cremalheira	2	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025.

Além disso, é válido salientar que embora tenham sido mapeados os fluxos de pessoas no modelo BIM, os indicadores logísticos analisados (DMPT, TMM, HH e ICF) foram calculados exclusivamente a partir dos fluxos de produção e de veículos, pois esses indicadores têm como objetivo avaliar a eficiência da logística de materiais e equipamentos, e não a circulação de pessoas.

3.4.2.2 Tempo Médio de Movimentação

Relacionado o tempo médio de necessidade para um deslocamento logístico, levando em consideração a distância e a velocidade associada ao tipo de fluxo (Souza, 2006), como pode-se observar abaixo.

$$TMM = \frac{\sum (ti * ni)}{\sum ni} \quad (2)$$

Onde:

t_i = Tempo do percurso (s);

n_i = número de viagens do percurso no período analisado

Lembrando que o tempo de percurso é dado por:

$$t_i = \frac{d_i}{v_i} \quad (3)$$

Em que:

d_i = distância do percurso (m);

v_i = velocidade do fluxo analisado (m/s).

3.4.2.3 Homem Hora consumido em transporte

É responsável por quantificar o esforço humano diário dedicado a atividades que não agregam valor direto ao produto (Koskela, 1992), determinado da seguinte forma.

$$HH = \sum \left(\frac{t_{desloc,i} + t_{op,i}}{3600} * n_i \right) \quad (4)$$

Onde:

$t_{desloc,i}$ = Tempo do deslocamento (s);

$t_{op,i}$ = Tempo de carga, descarga e manobra (s);

3.4.2.4 Índice de Cruzamento de Fluxos

Avalia a quantidade de interseções entre fluxos distintos (pessoas, produção e veículo) por unidade de área, sendo um indicador relacionado à segurança, organização e eficiência operacional (Saurin, 2006), cujo cálculo é expresso por:

$$ICF = \frac{\Sigma w_j}{A_{mobilizada}} \quad (5)$$

Onde:

w_j = Pesos de severidade atribuídos a cada cruzamento (s);

Para os parâmetros adotados nos critérios de pesos, atribuiu-se o valor de 2 para conflitos de alto risco, como veículo com pessoa/produção e produção com pessoa devido ao elevado potencial de risco à segurança e à interferência nas atividades produtivas. Já para o conflito produção com produção o valor é 1, pois corresponde ao confronto operacional e possíveis perdas de materiais. E por fim, o impacto de baixo nível, mas que deve ser considerado é o de pessoa com pessoa, cujo peso é de 0,5, relacionando-se principalmente ao desconforto, pequenas interferências no fluxo de circulação e eventuais atrasos pontuais, sem, contudo, representar riscos significativos à segurança ou à continuidade das atividades produtivas (Koskela, 1992; Tommelein, 1997; Saurin, 2006).

Desse modo, ressalta-se que os indicadores utilizados neste estudo possuem caráter analítico e comparativo, sendo empregados para avaliar melhorias relativas no layout do canteiro, e não como valores absolutos normativos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no modelo digital, tornou-se possível avaliar aspectos relacionados à otimização do espaço disponível e à eficiência logística da obra, com foco em tomadas de decisões técnicas e estratégicas para cada fase da construção. É válido salientar que a etapa 1 foi selecionada para análise, tendo em vista a maior quantidade de atividades sendo executadas, o superior número de colaboradores e por ser a de maior duração. Assim, os elementos posicionados no canteiro foram organizados de acordo com a lógica construtiva e com base em parâmetros reais do terreno e dos projetos arquitetônico e estrutural, permitindo uma análise precisa e aplicável à realidade do empreendimento.

Além da análise espacial, foram explorados conceitos de simulação de cenários, fluxo de materiais e trabalhadores, alocação de equipamentos, bem como a relação entre o layout e o cumprimento de normas de segurança e boas práticas da construção civil. Os resultados apresentados neste capítulo servem como suporte técnico à proposta de que o BIM, quando integrado ao planejamento de layout, contribui significativamente para a racionalização e eficiência da obra.

4.1 Análise espacial do canteiro (fase 1)

O modelo possibilitou a análise espacial detalhada e a extração automática de quantitativos (áreas, paredes, portas e janelas) que compõem parte essencial do processo de planejamento integrado a partir da metodologia BIM e do software Revit, conforme demonstrado nas tabelas a posteriori.

4.1.1 *Ambientes*

A tabela de ambientes contém a listagem detalhada de todos os compartimentos previstos na fase 1. Nesse contexto, é possível observar 25 ambientes principais, distribuídos entre o térreo e a garagem 01, com áreas que variam de 10 m² a 144 m², possibilitando uma precisão geométrica e visualização da eficiência e da distribuição dos ambientes como base quantitativa para tomada de decisão, uma vez que pode-se comparar diferentes configurações com áreas de circulação e de produção distintas.

Tabela 03 - Quantitativo de ambientes para a fase 1

Número	Nome	Nível	Área
1	Depósito de ensacados	Térreo	27 m ²
2	Ensacados	Térreo	10 m ²
3	Baia - Areia Industrial	Térreo	18 m ²
4	Baia - Areia Fina	Térreo	19 m ²
5	Baia - Brita	Térreo	16 m ²
6	Estoque de aço 1	Térreo	99 m ²
7	Estoque de aço 2	Térreo	78 m ²
8	Central de argamassa	Térreo	45 m ²
9	Alvenaria 1	Térreo	144 m ²
10	Am. Argamassa Estab.	Térreo	14 m ²
11	Central de armação	Térreo	46 m ²
12	Alvenaria 2	Térreo	59 m ²
13	Escritório	Pavimento 1	38 m ²
14	Refeitório	Pavimento 1	105 m ²
15	Almoxarifado	Pavimento 1	15 m ²
16	Vestiário/Banheiro Feminino	Pavimento 1	17 m ²
17	Almoxarifado - Estoque de Ferramentas	Pavimento 1	43 m ²
18	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	39 m ²
19	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	44 m ²
20	Estoque Materiais Hidro	Pavimento 1	76 m ²
21	Almoxarifado	Pavimento 1	46 m ²
22	Vestiário Masculino	Pavimento 1	69 m ²
23	Banheiro Masculino	Pavimento 1	28 m ²
24	Estoque de compensado	Pavimento 1	17 m ²
25	Central de carpintaria	Pavimento 1	19 m ²

Fonte: Extraído da modelagem 3D pelo autor, 2025.

4.1.2 Fechamentos e divisórias

A tabela de tapumes e fechamentos possui todas as tipologias utilizadas no canteiro. Assim, cada parede contém parâmetros de material, restrição de base, altura, área e função, possibilitando que o software quantifique a metragem linear e a área total de cada tipo. Os resultados possibilitaram estimar com precisão o consumo de madeira e painéis de fechamento, auxiliando em análises orçamentárias e em uma possível avaliação do impacto ambiental de alternativas, como a substituição por um tapume ecológico reutilizável. Ademais, outro ponto bastante relevante é que essa automação auxilia no planejamento de desmontagem e reaproveitamento, haja vista que como a primeira fase há de passar por uma desmobilização, torna-se possível identificar, a partir do modelo BIM, quais elementos poderiam ser reutilizados em etapas posteriores e quanto desses materiais poderiam ser reaproveitados.

Tabela 04 - Quantitativo de paredes para a fase 1.1

Tabela de Paredes - Layout de Canteiro			
Família e tipo	Restrição da base	Área	Comentários
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Térreo	14 m ²	Baia
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo	41 m ²	Depósito de Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo	53 m ²	Ensacados
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Térreo	163 m ²	Externa
Parede básica: Alvenaria Tij. Cerâmico + Revest. e=4	Pavimento 1	57 m ²	Chuveiros/Sanitários
Parede básica: DIVISÓRIA 5 CM	Pavimento 1	3 m ²	Mictórios
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	115 m ²	Almoxarife
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	29 m ²	Banheiro Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	54 m ²	Escritório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	18 m ²	Estoque Compensados
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	19 m ²	Refeitório
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	92 m ²	Vestiário Masculino
Parede básica: Tapume de Madeira 02 cm	Pavimento 1	38 m ²	Vestiário/Banheiro Feminino
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Pavimento 1	18 m ²	Almoxarife
Parede básica: Tapume de Madeira 3,5 cm	Pavimento 1	22 m ²	Entrada
Parede básica: Tela	Pavimento 1	41 m ²	Refeitório

Fonte: Extraído da modelagem 3D pelo autor, 2025.

4.1.3 Esquadrias (portas e janelas)

Por fim, quanto aos quantitativos extraídos, a tabela de portas e janelas possui alta facilidade de acesso e informações precisas, como tipologia, dimensão, material e quantidade. Esses dados são bastante importantes, tendo em vista que permitem uma visão macro de como está a gestão de ventilação e iluminação natural nas áreas de vivência, garantindo que os ambientes mobiliados estejam em conformidade com a norma vigente nesses quesitos, bem como auxiliando no controle de acessos de segurança a partir da análise do número e largura de saídas e, conseqüentemente, das possíveis rotas de evacuação de emergência. Além disso, outro ponto crucial que a extração de quantitativos do modelo BIM permite potencializar é o planejamento de compras e estoque, evitando sobras ou faltas de esquadrias provisórias, reduzindo o erro humano típico de medições em CAD, além da possibilidade de associar dados dos fornecedores e do orçamento diretamente no modelo e, automaticamente, nas tabelas orçamentárias extraídas.

Tabela 05 - Quantitativo de portas e janelas para a fase 1.1

Tabela de Portas - Layout de Canteiro			
Família e tipo	Nível	Contagem	Comentários
GRADE.ALU.2F.ABRIR: 1,80x2,20m	Térreo	1	Depósito de ensacados
EXP-Porta de madeira: P3) 80x210cm PM	Térreo	1	Ensacados
Porta: 90 x 220 cm	Pavimento 1	1	Almoxarifado
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	1	Banheiro Masculino
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x180cm	Pavimento 1	1	Chuveiro
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x210cm	Pavimento 1	9	Chuveiro
ExtDbI Louvre (1): 1510 x 2110mm	Pavimento 1	1	Entrada - Acesso pessoas
Porta: 90 x 220 cm	Pavimento 1	1	Escritório
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 55x180cm	Pavimento 1	5	Instalações Sanitárias
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	1	Refeitório
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Pavimento 1	2	Vestiário

Tabela de Janelas _ Layout de Canteiro			
Família e tipo	Nível	Contagem	Comentários
JANELA ALU. VID.2F CORRER: JA14 - JANELA ALU. VID.2F CORRER 120x150	Pavimento 1	5	Almoxarife
JANELA ALU. VID.2F CORRER: JA14 - JANELA ALU. VID.2F CORRER 120x150	Pavimento 1	2	Escritório
M_Fixo: 0915 x 0610mm	Pavimento 1	1	Estoque de Compensados
JANELA ALU. VID.2F CORRER: 120x150	Pavimento 1	3	Refeitório

Fonte: Extraído da modelagem 3D pelo autor, 2025.

4.1.2 Indicadores Espaciais

4.1.4.1 Percentuais de áreas

Além disso, outro ponto de suma importância que pôde ser observado a partir do modelo 3D foi a possibilidade de realizar a análise espacial com base em indicadores desenvolvidos a partir dos quantitativos extraídos. Nesse viés, a partir da natureza de cada ambiente, é possível realizar a seguinte distribuição logística, como consta na tabela abaixo, a qual segmentou-se os locais em área de estoque/armazenamento, área de produção e área de vivência.

Tabela 06 - Distribuição logística de ambientes da fase 1.1

Número	Nome	Nível	Distribuição Logística	Área
1	Depósito de ensacados	Térreo	Área de estoque	27 m ²
2	Ensacados	Térreo	Área de estoque	10 m ²
3	Baia - Areia Industrial	Térreo	Área de estoque	18 m ²
4	Baia - Areia Fina	Térreo	Área de estoque	19 m ²
5	Baia - Brita	Térreo	Área de estoque	16 m ²
6	Estoque de aço 1	Térreo	Área de estoque	99 m ²
7	Estoque de aço 2	Térreo	Área de estoque	78 m ²
9	Alvenaria 1	Térreo	Área de estoque	144 m ²
10	Am. Argamassa Estab.	Térreo	Área de estoque	14 m ²
12	Alvenaria 2	Térreo	Área de estoque	59 m ²
17	Almoxarifado - Estoque de Ferramentas	Pavimento 1	Área de estoque	43 m ²
18	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	Área de estoque	39 m ²
19	Armazenamento de tubos	Pavimento 1	Área de estoque	44 m ²
20	Estoque Materiais Hidro	Pavimento 1	Área de estoque	76 m ²
21	Almoxarifado	Pavimento 1	Área de estoque	46 m ²
24	Estoque de compensado	Pavimento 1	Área de estoque	17 m ²
Total				749 m ²

Número	Nome	Nível	Distribuição Logística	Área
8	Central de argamassa	Térreo	Área de produção	45 m ²
11	Central de armação	Térreo	Área de produção	46 m ²
25	Central de carpintaria	Pavimento 1	Área de produção	19 m ²
Total				110 m ²

Número	Nome	Nível	Distribuição Logística	Área
13	Escritório	Pavimento 1	Área de vivência	38 m ²
14	Refeitório	Pavimento 1	Área de vivência	105 m ²
15	Almoxarifado	Pavimento 1	Área de vivência	15 m ²
16	Vestiário/Banheiro Feminino	Pavimento 1	Área de vivência	17 m ²
22	Vestiário Masculino	Pavimento 1	Área de vivência	69 m ²
23	Banheiro Masculino	Pavimento 1	Área de vivência	28 m ²
Total				272 m ²

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Com base na divisão de ambientes calculados, é possível inferir um total de 1131 m² de área total modelada. Ademais, é relevante mencionar que o empreendimento, de acordo com o projeto, possui áreas totais de 812,44 m² e 924,16 m² para o térreo e o primeiro pavimento (garagem 01), respectivamente, totalizando 1736,60 m² e uma área livre de 605,6 m², como pode-se observar na tabela abaixo.

Tabela 07 - Percentual sobre área modelada

DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA	Área (m ²)	Total de área modelada (m ²)	Percentual sobre área modelada
Área de estoque	749	1131	66,22%
Área de vivência	272		24,05%
Área de produção	110		9,73%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Tabela 08 - Percentual sobre áreas do pavimento e área livre

DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA	Percentual sobre a área dos pavimentos	Área livre no edifício (m ²)	Percentual de área livre	Área pavimento - projeto (m ²)	
				Térreo	1º Pavimento
Área de estoque	43,13%	605,6	34,87%		
Área de vivência	15,67%			812,44	924,16
Área de produção	6,33%			1736,6	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Analisando as duas tabelas apresentadas acima, é possível observar que o canteiro possui uma predominância de áreas de estoque e armazenamento. Nesse contexto, verifica-se que apenas de área modelada tem-se um total de 66,22% destinado a esse setor, enquanto levando em consideração o percentual dos pavimentos, isto é, a relação entre a área de estoque e a de projeto, o valor é de 43,13%. Essa quantidade condiz com a fase de intensa entrega e armazenamento de materiais para a execução das frentes de serviços atuais, como alvenaria, armação e carpintaria.

Tal questão, corrobora fortemente na indicação da necessidade de um efetivo planejamento logístico interno, a fim de que a grande demanda de insumos não acabe gerando um transtorno de fluxos para o recebimento e a distribuição dos materiais até suas respectivas frentes de serviço. Outrossim, o resultado de 6,33% possibilita a inferência de que esse valor indica a porcentagem do edifício que está ocupada por centrais de produção, evidenciando uma produção reduzida em espaço, isto é, há um subdimensionamento das áreas de produção em detrimento à área de estoque, no qual muitos materiais estão aguardando uso para pequenos locais destinados à execução de serviços (Souza, 2000).

4.1.4.2 Relação estoque/produção

Um indicador quantitativo logístico que possibilita uma análise acerca do layout de canteiro é a relação entre estoque e produção, cujo valor obtido é de 6,81, indicando que a área destinada ao estoque é, aproximadamente, 6,8 vezes maior que a área dedicada à produção, confirmando o observado anteriormente quanto à predominância de armazenamento nessa fase, principalmente devido à concentração de produção crítica, isto é, serviços que requerem grandes áreas de manuseio e estocagem intermediária, como armadura e alvenaria. Contudo, esse valor pode ser considerado alto, sendo necessário pequenas reduções relativas em estoque

próximo às frentes e/ou um aumento das áreas de produção (Costa, 2018). Esse índice alto pode evidenciar um risco de dificuldade de manobra, isto é, problemas com fluxo de movimentação de material no layout de canteiro, possibilitando a geração de potenciais gargalos logísticos pela ocupação majoritária do terreno (Formoso, 2001). Veja-se:

Tabela 09 - Relação estoque/produção

Relação estoque/produção	6,81
Área de estoque (m ²)	749
Área de produção (m ²)	110

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.1.4.3 Índice de saturação espacial

Por meio do índice de saturação espacial, é possível verificar o grau de ocupação da área disponível, isto é, o quanto do edifício total destina-se ao canteiro. Nesse aspecto, para este cálculo, deve-se realizar a relação entre a toda a área ocupada e a área total do terreno, de modo que, embora não haja um valor fixo de limite normativo rígido, pode-se utilizar faixas recomendadas como ideal entre 0,50 a 0,70, a fim de possibilitar espaço e garantir folga operacional e margem para manobras ou novas mobilizações (Formoso, 2001). Dessa forma, analisando a fase 1 do layout proposto, a saturação espacial é dada pelo quociente entre o total de área modelada (1131 m²) e a área total dos pavimentos de acordo com o projeto (1736,6 m²), resultando em um indicador equivalente a 0,651 ou 65,1% e possibilitando a inferência de que esse percentual corresponde ao espaço designado para todos os elementos que compõem o layout de canteiro e que 34,9% da área do edifício não está alocada no inventário. Esse parâmetro indica que existe capacidade física de, aproximadamente, 605 m² de área livre para movimentação/fluxo ou que pode ser utilizada para novas áreas de armazenamento ou reorganização dos estoques alocados e adoção de medidas que não afetem as frentes de serviço. Assim, analisando este indicador, pode-se concluir que seu valor está razoavelmente adequado, mas que pode ser alterado, a fim de estar mais próximo do ideal, como mencionado anteriormente.

Tabela 10 - Índice de Saturação Espacial

Índice de Saturação Espacial	
Relativo à área modelada	1,00
Relativo ao edifício	0,651

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.1.4.4 Índice de compactação de layout

Buscando avaliar a capacidade de um canteiro levando em consideração os materiais e ferramentas armazenados, o índice de compactação do layout é um conceito bastante relevante na construção civil, cuja determinação auxilia no planejamento e na eficiência do espaço presente na obra. Sob esse viés, torna-se possível verificar o dimensionamento do canteiro, uma vez que é feita uma comparação entre as áreas de circulação e de trabalho, de modo que o resultado, quando apresenta valores muito baixos pode significar uma circulação insuficiente, impossibilitando um fluxo de caminhos eficiente e aumentando os riscos de segurança, enquanto números altos representam um desperdício de área que poderia ser utilizada para outras demandas do canteiro. Logo, para o objeto de estudo em questão, o resultado encontrado foi de 0,35 ou 35%, indicando que o equilíbrio foi alcançado e que o layout de canteiro não é tão compacto, mas seguro e funcional. Portanto, o ICL de 0,35 sugere que essa área livre foi dimensionada no limite inferior aceitável para garantir que as operações logísticas críticas ocorram sem gargalos, sendo um indicativo de que o BIM auxiliou na análise para evitar o superdimensionamento das vias de acesso, de acordo com Saurin (2006), mas que podem apresentar uma pequena melhoria para valores entre 0,4 e 0,5.

Tabela 11 - Índice de Compactação do Layout

Índice de Compactação do Layout (ICL)	
Área livre (m ²)	605,6
Área total do canteiro (m ²)	1736,6
ICL	0,35

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.1.4.5 Áreas de vivências por trabalhador

Por fim, apesar da análise ser de cunho logístico e de espaço, é de suma importância verificar um indicador que confirma o atendimento do layout de canteiro proposto às exigências das normas regulamentadoras, como a NR-18 e NR-24, uma vez que é dever do profissional responsável atender o que estiver proposto em regulamentação. Além disso, utilizando-se do BIM e da precisão de extração dos quantitativos, é possível averiguar se não há um superdimensionamento desnecessário das áreas de vivência, impossibilitando o aproveitamento de espaço para áreas produtivas ou de armazenamento. Nesse contexto, sabendo-se que as áreas de vivência somam um valor de 272 m² e a quantidade de funcionários para o pico dessa fase é de 100 pessoas, obtém-se um resultado de 2,72 m² por trabalhador, ratificando o atendimento

às normas vigentes, como área mínima de gabinete sanitário de 1,00 m² e área de chuveiro de, pelo menos, 0,80 m². Esse estudo garante condições adequadas de conforto e segurança aos trabalhadores e demonstra que a precisão do BIM resultou em um dimensionamento suficiente e não excessivo capaz de gerar o aproveitamento de um espaço valioso.

Tabela 12 - Área de vivência por trabalhador

Área de vivência por trabalhador (m²/pessoa)	2,72
Área de vivência do canteiro (m ²)	272
Número estimado de colaboradores no pico (pessoa)	100

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.2 Análise de fluxo logístico (fase 1)

Para a análise de desempenho de cunho logístico a partir da modelagem desenvolvida, é possível destacar que, semelhante ao processo de estudo da otimização espacial, nessa etapa utilizaram-se alguns parâmetros numéricos, extraídos do modelo 3D, e, com base em indicadores, avaliaram-se as condições logísticas do canteiro de obra estudado. Nesse sentido, como mencionado na metodologia, a tabela de percurso dos caminhos principais destacados na planta de fluxo do canteiro possibilita a análise logística, uma vez que a extração de dados relacionados a cada trajetória é feita de forma automática, apontando informações como distância, velocidade e, conseqüentemente, o tempo necessário para que cada rota seja realizada, como pode-se observar:

Tabela 13 - Caminho de deslocamento

TABELA DO CAMINHO DE DESLOCAMENTO							
Nível	Comprimento (m)	Tempo (s)	Velocidade (km/h)	Caracterização do fluxo	Veloc. Adotada (km/h)	Veloc. Adotada (m/s)	Percurso
Térreo - Fase 1	14,49	52,2	4,8	Produção	1	0,28	Baia de areia -- Central de argamassa
Térreo - Fase 1	18,02	13,5	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- Escada
Térreo - Fase 1	18,64	67,1	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de aço -- Central de armação
Térreo - Fase 1	8,1	9,7	4,8	Veículo	3	0,83	Entrada de veículos
Térreo - Fase 1	12,74	45,9	4,8	Produção	1	0,28	Central de argamassa --- cremalheira
Térreo - Fase 1	12,95	46,6	4,8	Produção	1	0,28	Central de armação --- Aço para içamento
Pavimento 1	10,95	8,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Escritório
Pavimento 1	11,66	42,0	4,8	Produção	1	0,28	Estoque Compensado -- Central de carpintaria
Pavimento 1	35,3	26,5	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Almojarifado
Pavimento 1	23,66	17,7	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- Refeitório
Pavimento 1	40,27	30,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Entrada -- Vestiário
Pavimento 1	26,07	19,6	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- WC/MASC
Pavimento 1	21,62	16,2	4,8	Pessoa	4,8	1,33	Cremalheira -- WC/Vestiário FEM
Pavimento 1	3,21	3,9	4,8	Veículo	3	0,83	Entrada de veículos
Térreo - Fase 1	12,54	45,1	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de alvenaria 1 --- cremalheira
Térreo - Fase 1	7,95	28,6	4,8	Produção	1	0,28	Estoque de alvenaria 2 --- cremalheira

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.2.1 Indicadores Logísticos

4.2.1.1 Distância média ponderada de transporte

De posse das informações obtidas pela modelagem, é possível determinar alguns parâmetros capazes de demonstrar a capacidade logística desse canteiro. Nesse contexto, o primeiro indicador é a distância média ponderada de transporte (DMPT) que relaciona a extensão percorrida por um colaborador e a quantidade de viagens realizadas. Desse modo, com base nos dados encontrados e aplicando a fórmula simplificada para esse indicador, o resultado foi de, aproximadamente, 11 metros. Esse valor expressa a distância média efetivamente percorrida por viagem logística, considerando não apenas a geometria do canteiro, mas também a frequência de utilização de cada percurso.

Segundo Tommelein (1992), DMPTs elevadas são típicas de canteiros planejados de forma empírica, sem suporte de ferramentas digitais, frequentemente ultrapassando valores médios de 20 a 30 metros em obras de médio porte. Nesse sentido, a título de canteiro de obra, o resultado encontrado demonstra um sinal de layout compacto e eficiente, tendo em vista que o valor obtido não apresentou ser elevado, indicando que os principais fluxos logísticos foram posicionados de maneira racional e compacta, priorizando a proximidade entre áreas de estoque, centrais produtivas e frentes de serviço.

Portanto, tal análise evidencia a eficácia da modelagem tridimensional no apoio à tomada de decisão, tendo em vista que a visualização 3D e a extração dos quantitativos de caminho de deslocamento permitiram identificar antecipadamente posicionamentos inadequados que aumentariam as trajetórias internas.

Tabela 14 - Determinação do DMPT

CÁLCULO - NUMERADOR				CÁLCULO - DENOMINADOR		DMPT (m)	
ROTA	di	ni	produto di x ni	Somatório	ni		Somatório
R1	14,49	2	28,98	182,15	2	17	10,71
R2	18,64	1	18,64		1		
R3	8,1	3	24,3		3		
R4	12,74	3	38,22		3		
R5	12,95	1	12,95		1		
R6	11,66	1	11,66		1		
R7	3,21	2	6,42		2		
R8	12,54	2	25,08		2		
R9	7,95	2	15,9		2		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.2.1.2 Tempo médio de movimentação

Outro indicador que faz parte dessa análise é o tempo médio de movimentação (TMM), ou seja, o período, em média, que um deslocamento leva para ser percorrido, considerando apenas distâncias de deslocamentos, isto é, o tempo médio necessário para que uma movimentação logística seja realizada, considerando as velocidades diferenciadas por tipo de fluxo (pessoas, produção e veículos).

A partir dos cálculos, o valor encontrado para esse parâmetro foi de 34,24 segundos, resultado este coerente com layouts classificados como eficientes segundo Tommelein (1992) e Koskela (1992), apontado que o layout de canteiro desenvolvido possui um dimensionamento adequado com viagens curtas e rápidas, compatíveis com a lógica de um canteiro bem organizado, no qual as centrais de produção e os estoques estão posicionados estrategicamente próximos aos pontos de consumo.

Tabela 15 - Determinação do TMM

TEMPO MÉDIO DE MOVIMENTAÇÃO (SOMENTE DESLOCAMENTO)								
ROTA	di (m)	vi (m/s)	Tempo (s)	ni	Ponderado por ni	Somatório (ti * ni)	Somatório ni	TMM PONDERADO (s)
R1	14,49	0,278	52,164	2	104,328	582,012	17	34,24
R2	18,64	0,278	67,104	1	67,104			
R3	8,1	0,833	9,72	3	29,16			
R4	12,74	0,278	45,864	3	137,592			
R5	12,95	0,278	46,62	1	46,62			
R6	11,66	0,278	41,976	1	41,976			
R7	3,21	0,833	3,852	2	7,704			
R8	12,54	0,278	45,144	2	90,288			
R9	7,95	0,278	28,62	2	57,24			

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.2.1.3 Homem hora com transporte

Esse indicador é responsável por demonstrar a quantidade de horas homem perdida por dia com transporte. Nesse sentido, levou-se em consideração mais alguns parâmetros como o tempo de operação, referente à carga e à descarga, nos quais adotou-se 180 e 300 segundos, sendo o primeiro valor para produção e o segundo para veículo. Além disso, o tempo de manobra adotado foi de 300 segundos. Ambos os valores representam tempos aceitáveis e dentro dos padrões analisados (Tommelein, 2001; Saurin, 2006; Koskela, 1992). Assim, o resultado encontrado para esse indicador foi de 1,60 horas por dia, isto é, aproximadamente, 1 hora e 36 minutos consumidas em atividades de transporte interno de canteiro, considerando deslocamento, carga/descarga e manobras de veículos.

Esse valor evidencia o impacto acumulado das operações logísticas ao longo da jornada de trabalho, mesmo em um layout considerado eficiente. Assim, a importância desse indicador reside no fato de traduzir os deslocamentos internos em uma métrica diretamente relacionada ao custo da mão de obra e à produtividade global da obra. Koskela (1992) classifica o transporte interno como uma atividade que não agrega valor e que deve ser minimizada. Quando projetado para um horizonte de 30 dias, o valor encontrado representa aproximadamente 48 horas homem mensais, o que reforça a relevância do planejamento logístico no desempenho global da obra.

Dessa forma, a literatura aponta que a metodologia BIM se destaca justamente por permitir quantificar esse tipo de perda ainda na fase de planejamento, possibilitando ajustes de layout antes da execução, o que confirma a adequação metodológica deste estudo.

Tabela 16 - Determinação das horas gastas com transporte

DETERMINAÇÃO HH-TRANSPORTE							
modo	ROTA	Tempo (s)	tempo + t _{op} + t _{man}	ni	tempo ponderado	Somatório (S)	HH_Transp (hora)
Produção	R1	52,164	232,164	2	464,328	5742,012	1,60
Produção	R2	67,104	247,104	1	247,104		
Veículo	R3	9,72	609,72	3	1829,16		
Produção	R4	45,864	225,864	3	677,592		
Produção	R5	46,62	226,62	1	226,62		
Produção	R6	41,976	221,976	1	221,976		
Veículo	R7	3,852	603,852	2	1207,704		
Produção	R8	45,1	225,1	2	450,288		
Produção	R9	28,6	208,6	2	417,24		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.2.1.4 Índice de cruzamento de fluxos

Por fim, esse indicador é responsável por demonstrar a quantidade de cruzamentos entre fluxos observados na modelagem, relacionando o número de pontos que convergem para cada metro quadrado. Nesse contexto, esse parâmetro é utilizado para conter interseções entre rotas, ou seja, quando há, fisicamente, algum cruzamento e ponderar por severidade para depois normalizar por área mobilizada. Dessa forma, o resultado encontrado para o índice de cruzamento de fluxos foi de 0,0168 cruzamentos por metro quadrado, indicando que existe, aproximadamente, 2 cruzamentos a cada 100 m² e apontando um nível que indica a presença de pontos críticos, sobretudo, para a questão da entrada de veículos e do fluxo de produção no canteiro.

A análise tridimensional proporcionada pela metodologia BIM foi fundamental para identificar esses cruzamentos, uma vez que a sobreposição visual das rotas no modelo facilita a percepção de conflitos. Segundo Hinze (1997), a concentração de cruzamentos entre pedestres, produção e veículos aumenta significativamente o risco de acidentes e interrupções operacionais, comprometendo o fluxo logístico do layout proposto. Assim, o valor encontrado neste estudo não caracteriza um canteiro caótico, mas evidencia a necessidade de pequenas intervenções pontuais. Veja-se:

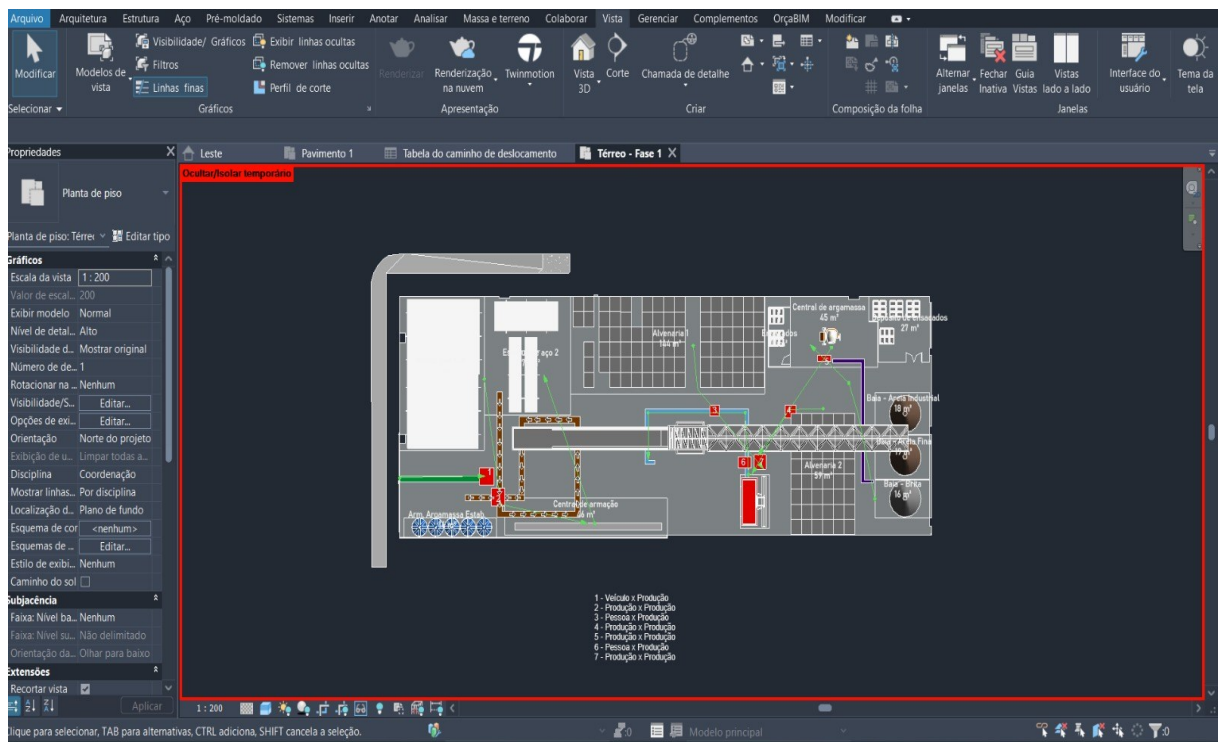
Tabela 17 - Determinação do índice de cruzamentos de fluxos

DADOS E INFORMAÇÕES					ICF	
Pavimento	Tipo de fluxo	Quantidade	Impacto	W _j	ΣW_j	ICF
Térreo	Veículo x Produção	1	2	2	19	0,0168
	Produção x Produção	4	1	4		
	Pessoa x Produção	2	2	4		
1º Pavimento	Veículo x Pessoa	1	2	2		
	Pessoa x Pessoa	6	0,5	3		
	Pessoa x Produção	2	2	4		

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

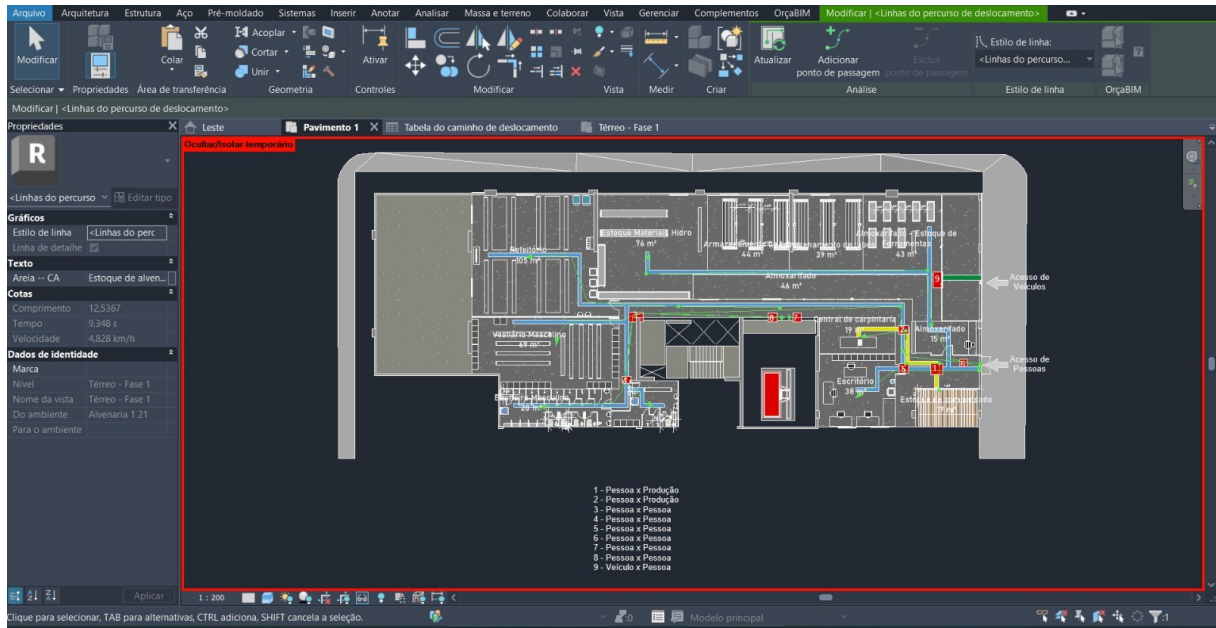
Assim, o cálculo desse indicador foi determinado utilizando os modelos tridimensionais desenvolvidos, a partir do reconhecimento e classificação de cada conflito logístico, como pode-se observar nas imagens abaixo.

Figura 29 – Identificação de cruzamentos de fluxos no térreo



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Figura 30 – Identificação de cruzamentos de fluxos no 1º pavimento



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.3 Comparativo de análise espacial do canteiro (fase 3)

Como mencionado na metodologia, a transição entre a fase 1, focada em serviços iniciais, como estrutura e alvenaria, e a fase 3, marcada por finalização e entrega do empreendimento, demonstra uma estratégia de desmobilização racional e de otimização espacial. Essa análise, possibilitada pela implantação da metodologia BIM, expõe que os dados extraídos revelam a evolução dinâmica do canteiro.

Observando o quantitativo referente às paredes e fechamentos utilizados para mobilização do canteiro, é possível verificar uma redução significativa nas áreas de apoio, como o refeitório que passou de 105 para 13 m². Houve uma migração completa das áreas de vivência do pavimento 1 para o térreo devido à necessidade de liberação desse andar para finalização de acabamentos finais.

Quanto à gestão de estoque e processamento de materiais, nota-se que há a extinção das centrais de produção que, outrora, ocupavam espaço no térreo e primeiro pavimento. Assim, esses ambientes deixaram de existir, ratificando que a maioria dos serviços foram finalizados e os insumos chegam na obra prontos para instalação. Além disso, o almoxarifado que antes contava com mais de 100 m² passa a ter apenas 34 m², evidenciando um controle de estoque mais rígido para materiais de alto valor agregado (acabamento).

Por fim, é importante destacar a mudança nos sistemas de vedação e de acesso às áreas do canteiro. Nesse contexto, a tipologia de vedação da fase 1 utilizou-se uma grande metragem

de tapumes externos e paredes de alvenaria para áreas úmidas. Na Fase 3, a vedação é simplificada, utilizando telas (28 m²) para o refeitório e tapumes leves (24 m²) para o almoxarifado. Outrossim, a tabela de portas demonstra que a utilização desses elementos está restrita apenas a alguns ambientes de modo a garantir ventilação, privacidade e segurança interna, em contraste com a alta demanda no início da obra.

Tabela 18 - Quantitativo de ambientes para fase 3

Tabela de Ambientes - Layout de Canteiro		
Nome	Nível	Área
Refeitório	Térreo	13 m ²
Almoxarifado	Térreo	34 m ²
Escritório	Térreo	13 m ²
Vestiário	Escada Container	13 m ²

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Tabela 19 - Quantitativo de paredes para fase 3

Tabela de Paredes - Layout de Canteiro			
Família e tipo	Restrição da base	Área	Comentários
Parede básica: Tapume de Madeira	Térreo	24 m ²	Almoxarifado
Parede básica: Tela	Térreo	28 m ²	Refeitório

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Tabela 20 - Quantitativo de portas para fase 3

Tabela de Portas - Layout de Canteiro			
Família e tipo	Nível	Contagem	Comentários
GRADE.ALU.2F.ABRIR: 1,80x2,20m	Térreo	1	Almoxarifado
Door_Zeppelin-Rental-GmbH_Single-Leaf-Door: 1000 x 2000	Térreo	1	Escritório
EXP-Portas de alumínio - 1 folha veneziana: a. 80x210cm	Térreo	1	Refeitório
Door_Zeppelin-Rental-GmbH_Single-Leaf-Door: 1000 x 2000	Escada Container	1	Vestiário

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Em segunda análise, é relevante destacar que os indicadores espaciais que complementam a análise dessa fase demonstram os valores obtidos na tabela abaixo, cujos resultados indicam que de toda a área modelada, 46,58% e 53,42% representam percentuais relativos à área de estoque e de vivência, respectivamente. Já levando em consideração o pavimento mobilizado (térreo), os percentuais caem para 4,18% e 4,80% para estoque e vivência, seguindo essa ordem, corroborando para a consolidação dessa etapa final da obra que

exige pouca mobilização e maior área desocupada para finalização de acabamentos, como pode-se observar no valor de 91,01% para espaços livres.

Tabela 21 - Percentual sobre área modelada (fase 3)

DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA	Área (m ²)	Total de área modelada (m ²)	Percentual sobre área modelada
Área de estoque	34	73	46,58%
Área de vivência	39		53,42%
Área de produção	0		0,00%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Tabela 22 - Percentual sobre áreas do pavimento e área livre (fase 3)

DISTRIBUIÇÃO LOGÍSTICA	Percentual sobre a área do pavimento	Área livre no edifício (m ²)	Percentual de área livre	Área pavimento - projeto (m ²)	
Área de estoque	4,18%	739,44	91,01%	Térreo	1 ^o Pavimento
Área de vivência	4,80%			812,44	0
Área de produção	0,00%			812,44	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Como não foi contabilizado área de produção, não é possível determinar a relação estoque/produção. Assim, o próximo indicador é o índice de saturação espacial, o qual apresentou valor igual a 0,09 ou 9% relativo ao edifício, isto é, a área mobilizada no terreno disponível, apontando que esse percentual corresponde ao que foi mobilizado dentro do canteiro. Esse resultado condiz com a fase 3, caracterizada pelo foco em pouca utilização de espaço e demonstra a diferença entre fases.

Tabela 23 - Índice de saturação espacial (fase 3)

Índice de Saturação Espacial	
Relativo à área modelada	1,00
Relativo ao edifício	0,090

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

O índice de compactação de layout para essa fase é 0,91 ou 91%, cuja tratativa permite esse valor alto, tendo em vista a etapa de necessidade de pouca área a ser desmobilizada nesse estágio final de obra, diferentemente da fase 1, marcada por diversas atividades sendo executadas e grandes áreas de vivência.

Tabela 24 - Índice de compactação de layout (fase 3)

Índice de Compactação do Layout (ICL)	
Área livre (m ²)	739,44
Área total do canteiro (m ²)	812,44
ICL	0,91

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Outrossim, para finalizar a etapa de análise espacial, a verificação de área de vivência por trabalhador possui valor equivalente a 1,95 m² por pessoa, corroborando para a afirmativa de que esses elementos do canteiro atendem a normativa responsável e evidenciam um layout adequado para essa última fase da obra.

Tabela 25 - Área de vivência por trabalhador (fase 3)

Área de vivência por trabalhador (m ² /pessoa)	1,95
Área de vivência do canteiro (m ²)	39
Número estimado de colaboradores no pico (pessoa)	20

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Por fim, é válido salientar que na fase 3, observou-se uma alteração considerável no fluxo operacional do canteiro, no qual há a conclusão da grande maioria dos serviços, restando, predominantemente, fluxos de pessoas destinadas a acabamentos finos e vistorias finais. Assim, devido a simplificação das atividades, não foi realizada a análise logística detalhada de trajetória para esse período.

4.4 Proposta de melhorias

A partir da análise espacial e logística, abordadas anteriormente, do layout de canteiro proposto para fase 1, foram identificadas algumas ineficiências relacionadas à elevada ocupação por área de estoque, baixos locais para centrais de produção e à ocorrência de fluxos logísticos relativamente longos e cruzados. Nesse sentido, com base nesse diagnóstico, foi desenvolvido uma proposta de melhorias do layout, utilizando a metodologia BIM, especificamente a

modelagem tridimensional, de modo a avaliar, de forma quantitativa, os impactos da reorganização espacial nos indicadores de desempenho do canteiro.

É relevante ressaltar que a proposta de melhoria não teve como objetivo ampliar a área disponível, mas otimizar a ocupação do espaço existente, por meio do rearranjo funcional dos ambientes, da redução de áreas improdutivas e da aproximação entre estoques e frentes de produção. Desse modo, tornou-se possível comparar o cenário original com o contexto otimizado a partir dos indicadores, como pode-se observar nos tópicos a seguir.

4.4.1 Cenário espacial

Iniciando com a verificação dos espaços otimizados no layout de canteiro, a nova proposta possui os seguintes ambientes:

Figura 31 – Tabela de ambientes para canteiro otimizado

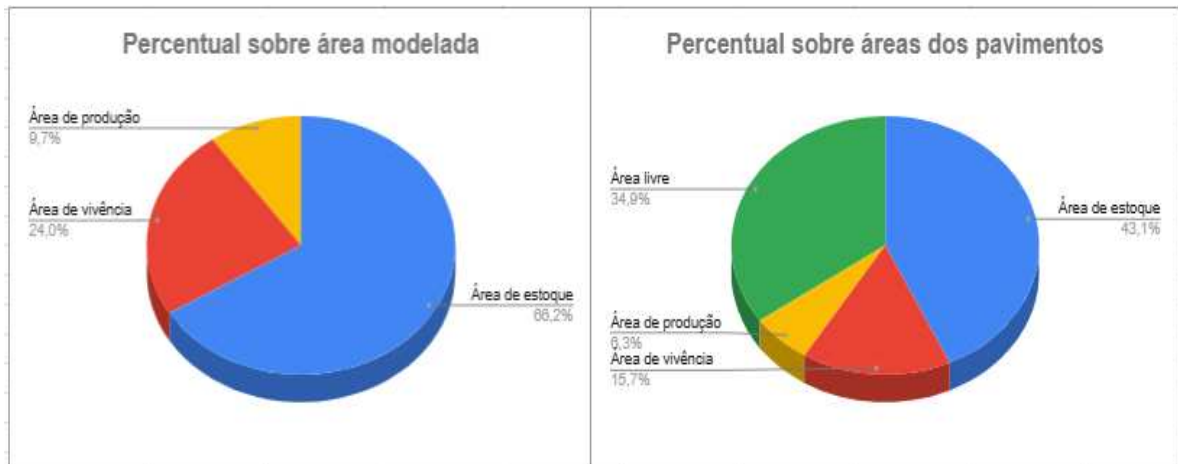


A	B	C
Nome	Nível	Área
Depósito de ensacados	Térreo - Fase 1	35
Baia - Areia Industrial	Térreo - Fase 1	19
Baia - Areia	Térreo - Fase 1	19
Baia - Brita	Térreo - Fase 1	19
Estoque de aço 1	Térreo - Fase 1	99
Estoque de aço 2	Térreo - Fase 1	72
Alvenaria 2	Térreo - Fase 1	42
Arm. Argamassa Estab.	Térreo - Fase 1	14
Central de armação	Térreo - Fase 1	67
Central de argamassa	Térreo - Fase 1	53
Alvenaria 1	Térreo - Fase 1	112
Refeitório	Pavimento 1	112
Almoxarifado	Pavimento 1	14
Vestibário/Banheiro Feminino	Pavimento 1	16
Almoxarifado - Estoque de Ferramentas	Pavimento 1	32
Armazenamento de tubos	Pavimento 1	31
Armazenamento de tubos	Pavimento 1	34
Estoque Materiais Hidro	Pavimento 1	50
Almoxarifado	Pavimento 1	21
Vestibário Masculino	Pavimento 1	70
Banheiro Masculino	Pavimento 1	30
Escritório	Pavimento 1	31
Central de carpintaria	Pavimento 1	34
Estoque de compensado	Pavimento 1	21

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

A nova versão dessa fase conta com uma área mobilizada de 1047 m², sendo 620, 273 e 154 m² de área de estoque, de vivência e de produção, respectivamente. Os percentuais relativos às áreas dos pavimentos também foram diminuídos, com exceção dos espaços de vivência que foram levemente aumentados, passando de 15,66% para 15,72%, como pode-se observar nos gráficos abaixo.

Gráfico 1 - Percentuais para layout de canteiro original



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Gráfico 2 - Percentuais para layout de canteiro otimizado



Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Um dos principais intuitos e efeitos dessa proposta de melhoria do layout foi atingir a redução da relação entre estoque e produção, que outrora era de 6,81, cujo novo valor é de 4,03, considerando uma área total de estoque de 620 m² e para produção de 154 m². Nesse sentido, no layout original, essa relação apresentou valores significativamente elevados, caracterizando um canteiro com forte predominância de área de armazenamento passivo, enquanto a nova reorganização espacial, viabilizada pelo modelo BIM, possibilitou uma consolidação de estoques redundantes, aproximação física entre estoques e suas respectivas centrais de produção, como carpintaria e argamassa, além da eliminação de áreas armazenadas com baixa rotatividade (Formoso, 2001). Dessa forma, a redução desse indicador evidencia uma transição

para um canteiro mais orientado à produção e alinhado aos princípios de racionalização construtiva.

A análise do índice de saturação espacial após a proposta de melhoria revelou dois aspectos complementares, visto que, em relação à área efetivamente modelada no canteiro, esse parâmetro atingiu o valor de 1,00, ou seja, há a ocupação integral do espaço destinado às funções do canteiro, o que era esperado, uma vez que a modelagem concentrou-se apenas em áreas efetivamente mobilizadas nesta fase. Por outro lado, quando analisada a área total disponível do edifício, o índice de saturação espacial foi reduzido para 0,60, indicando que apenas 60% da área potencialmente vaga encontra-se ocupada no canteiro. Isso corrobora o estudo realizado, pois mantém folgas operacionais importantes para circulação de pessoas e equipamentos, segurança e possíveis ajustes futuros, evitando um cenário de superlotação do espaço (Formoso, 2001)

Outro resultado relevante refere-se ao índice de compactação do layout, o qual passou a apresentar um valor igual a 0,40 após a proposta de melhoria. Esse aumento em relação ao layout original reflete uma melhor organização espacial do canteiro, com redução de áreas livres improdutivas e maior proximidade entre ambientes funcionalmente relacionados (Saurin, 2006). Assim, a reorganização das áreas de estoque em polos associados às respectivas centrais de produção, como argamassa, carpintaria e armadura, contribuiu diretamente para esse resultado. Além disso, é válido salientar que o valor obtido não caracteriza supercompactação, preservando a mobilidade interna e as condições de segurança, reforçando o caráter equilibrado da solução proposta.

Como último parâmetro para essa análise espacial, verificando as áreas de vivência, é possível destacar que estas permaneceram semelhantes em ambas as fases, tendo em vista que o dimensionamento estava aceitável e necessário para um contingente de 100 colaboradores no pico da obra, resultando em uma área de vivência de 2,73 m² por trabalhador. Esse valor encontra-se em consonância com os requisitos estabelecidos pelas Normas Regulamentadoras NR-18 e NR-24, que determinam condições adequadas de conforto, higiene e salubridade, sem prescrever um valor mínimo global por trabalhador. Assim, tornou-se possível racionalizar o layout de canteiro, conciliando a eficiência espacial com o rigor normativo e o bem-estar dos usuários.

Por fim, de forma geral, os resultados obtidos para organização espacial demonstraram que a aplicação da metodologia BIM converteu o planejamento subjetivo em uma análise orientada a dados, os quais são extraídos de forma automática após o desenvolvimento do

modelo, tanto o original como o melhorado, otimizando a logística e o espaço do canteiro por meio de simulações tridimensionais precisas e indicadores objetivos.

Tabela 26 - Análise comparativa dos modelos (espacial)

COMPARATIVO ENTRE LAYOUT DE CANTEIRO		
INDICADOR	ORIGINAL	OTIMIZADO
Área de vivência por trabalhador (m ² /pessoa)	2,72	2,73
Relação estoque/produção	6,81	4,03
Índice de Saturação Espacial	0,7	0,6
Índice de Compactação do Layout (ICL)	0,3	0,4

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

4.4.2 Cenário Logístico

Assim como no estudo espacial, o fluxo logístico também apresentou avanço após a proposição de melhorias no layout do canteiro. Nesse sentido, foram recalculados os indicadores logísticos previamente analisados, com o intuito de avaliar quantitativamente os impactos da reorganização espacial no desempenho dos fluxos logísticos. Essas alterações basearam-se, como mencionado na sessão anterior, na redistribuição funcional dos ambientes, na aproximação entre estoques e áreas produtivas e na segregação dos fluxos de pessoas, produção e veículos, utilizando a modelagem tridimensional e os princípios da metodologia BIM, os quais viabilizaram o estudo em questão.

Figura 32 – Caminhos de deslocamentos para canteiro otimizado

<Tabela do caminho de deslocamento>				
A	B	C	D	E
Nível	Comprimento	Tempo	Velocidade	Percurso
Térreo - Fase 1	18,02 m	13,4	4,8	Cremalheira – Escada
Térreo - Fase 1	13,67 m	10,2	4,8	Estoque de aço – Central de armação
Térreo - Fase 1	6,93 m	5,2	4,8	Entrada de veículos
Pavimento 1	1,90 m	1,4	4,8	Entrada – Escritório
Pavimento 1	35,30 m	26,3	4,8	Entrada – Almoxarifado
Pavimento 1	23,66 m	17,6	4,8	Cremalheira – Refeitório
Pavimento 1	40,27 m	30,0	4,8	Entrada – Vestiário
Pavimento 1	26,07 m	19,4	4,8	Cremalheira – WC MASC
Pavimento 1	21,62 m	16,1	4,8	Cremalheira – WC/Vestiário FEM
Térreo - Fase 1	12,95 m	9,7	4,8	Central de armação – Aço para içamento
Térreo - Fase 1	12,54 m	9,3	4,8	Estoque de alvenaria 1 – cremalheira
Térreo - Fase 1	9,79 m	7,3	4,8	Baía de areia – Central de argamassa
Térreo - Fase 1	10,58 m	7,9	4,8	Central de argamassa – cremalheira
Pavimento 1	6,50 m	4,8	4,8	Estoque Compensado – Central de carpintaria
Térreo - Fase 1	8,94 m	6,7	4,8	Estoque de alvenaria 2 – cremalheira
Pavimento 1	2,93 m	2,2	4,8	Entrada de veículos

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Iniciando pelo indicador referente à distância média ponderada de transporte (DMPT), é possível destacar que houve uma redução de 10,71 m para 9,10 m, o que representa uma diminuição de, aproximadamente, 15% em relação ao layout original. Esse resultado evidencia que a reorganização possibilitou encurtar os principais percursos de movimentação de materiais, especialmente aqueles associados às atividades produtivas de maior frequência, como argamassa, armação e carpintaria, os quais foram os principais focos nessa proposta de melhoria. Dessa forma, a redução da DMPT indica uma melhor articulação espacial entre estoque e frentes de produção, contribuindo diretamente para a racionalização dos deslocamentos internos e para a diminuição do esforço logístico necessário à execução dos serviços, conforme Tommelein (1992).

Outro fator de relevância foi o tempo médio de movimentação (TMM), cuja redução foi de 34,24 para 28,9 segundos, representando um percentual de diminuição de, aproximadamente, 16% no tempo gasto com movimentação e refletindo na melhoria da fluidez dos percursos internos. Assim, observa-se que a atenuação do TMM reforça que a proposta de melhoria contribuiu para tornar os fluxos logísticos mais eficientes, impactando positivamente a produtividade global do canteiro, conforme os estudos de Koskela (1992).

O consumo diário de homem hora em atividades de transporte foi reduzido de 1,6 h/dia para 1,57 h/dia, sofrendo um ajuste aproximado de 3%. Com isso, embora esse novo valor seja mais modesto quando comparado aos demais indicadores, ainda é tecnicamente válido, considerando que parte significativa do tempo de transporte está associado a operações inevitáveis, como carga, descarga e manobras. Assim, essa análise demonstra que a proposta de melhoria atuou principalmente na redução de deslocamentos desnecessários, mantendo as operações essenciais do canteiro. Ademais, é demonstrado que o layout original, do ponto de vista desse indicador, já era compacto, assim, uma redução maior de HH só seria possível através da mecanização, como automação de máquinas (BIM 10D), e não apenas pelo rearranjo do layout de canteiro. Paralelamente, é válido mencionar que se trata de uma mudança, mesmo que pequena, relativa ao dia, ou seja, aproximadamente 18 minutos que quando associados a 30 dias, totalizando 9 horas mensais, gastas apenas com deslocamento.

O último parâmetro de análise após o ajuste foi o índice de cruzamento de fluxos, cujo resultado apresentou uma redução significativa, passando de, aproximadamente, 2 para 1 cruzamento a cada 100 m². Essa diminuição contribui diretamente para o aumento da segurança operacional, a redução de interferências entre atividades e a melhoria das condições de trabalho no canteiro, reforçando a contribuição do BIM na identificação de interferências operacionais que, muitas vezes, não são evidentes em representações bidimensionais.

Tabela 27 - Análise comparativa dos modelos (logística)

COMPARATIVO DE FLUXOS LOGÍSTICOS			
Indicador	Antes	Depois	Redução
DMPT	10,7	9,1	15,4%
TMM	34,24	28,9	15,7%
HH	1,6	1,57	3,0%
ICF	0,0168	0,0102	39,5%

Fonte: Elaborada pelo autor, 2025.

Portanto, os resultados encontrados demonstram que a proposta de melhoria resultou em ganhos mensuráveis na eficiência do fluxo logístico do canteiro. A comparação entre os cenários original e otimizado comprova a eficácia da metodologia BIM como ferramenta de apoio ao planejamento do layout de canteiro, permitindo a avaliação prévia de soluções e a tomada de decisões fundamentadas em indicadores quantitativos, os quais podem ser alterados diversas vezes para diferentes modelos ajustáveis e obtidos múltiplos parâmetros para análise de forma automática.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve o objetivo de demonstrar o impacto benéfico da integração da metodologia BIM no planejamento de layout de canteiros de obra, focando na geração de eficiência e na otimização de espaço e logística, a partir de um estudo de caso em uma obra vertical. Para tal, foram utilizados modelos tridimensionais que possibilitaram a extração de quantitativos para o cálculo de indicadores de desempenho, possibilitando a avaliação e comparação entre diferentes fases de um layout.

A priori, a análise inicial revelou, apesar de condições satisfatórias, as fragilidades de um planejamento bidimensional, como ocupação excessiva de estoque, trajetos desnecessários e fluxos conflitantes que comprometem a produtividade. Após a aplicação da metodologia BIM, o planejamento foi orientado com dados reais. Assim, a proposta de melhoria priorizou a aproximação entre estoques e áreas produtivas, a consolidação de ambientes com funções semelhantes e a atenção às rotas de fluxo, racionalizando o uso do espaço disponível.

Como esperado, os resultados obtidos demonstraram ganhos expressivos, permitindo uma análise técnica e crítica do canteiro. Nesse contexto, a otimização gerou a melhoria nos indicadores estudados, como a relação estoque e produção, cujo valor que, outrora, era de 6,81 foi aprimorado para 4,03, tornando um layout com uma organização superior e em um ambiente de trabalho mais seguro e fluido para os colaboradores. Sob esse viés, esses resultados comprovam que a metodologia BIM se mostrou eficaz como ferramenta de suporte ao planejamento do layout de canteiro, permitindo a visualização integrada do espaço, a simulação de diferentes cenários e a quantificação objetiva dos impactos das decisões de projeto.

Conclui-se, portanto, que a aplicação do BIM no planejamento do layout de canteiros de obra apresenta potencial significativo para a otimização do uso do espaço e da logística interna, especialmente em obras verticais, caracterizadas por restrições espaciais e elevada complexidade operacional. O estudo desenvolvido reforça a relevância do BIM não apenas como ferramenta de projeto, mas também como instrumento estratégico para a gestão da produção e do canteiro de obras. Assim, embora tenha sido utilizada para um caso específico, essa metodologia pode ser replicada em demais casos e outros empreendimentos.

Outrossim, é válido ressaltar que o estudo apresentou como principal limitação a ausência de dados reais de execução da obra, como cronograma detalhado, tempos efetivos de transporte e registros de consumo, sendo necessário o uso de estimativas baseadas na literatura técnica. Além disso, a análise concentrou-se na fase 1 e na proposta de melhoria dessa etapa, não contemplando as dinâmicas logísticas das fases posteriores da obra. Destaca-se também

que a pesquisa priorizou os aspectos espaciais e logísticos, não incluindo uma avaliação econômico-financeira dos impactos das melhorias. Ademais, pode-se salientar como limitação o uso do software *Autodesk Revit*, que, embora eficiente para modelagem e extração de dados geométricos, apresenta restrições quanto à simulação dinâmica de fluxos logísticos e à análise temporal avançada, demandando simplificações e premissas adicionais.

Para sugestões, recomenda-se, em estudos futuros, a integração do planejamento do layout de canteiro com o cronograma da obra (BIM 4D), permitindo a análise da evolução temporal do canteiro. Paralelamente, sugere-se também a utilização de dados reais de campo para validação dos indicadores logísticos calculados. A inclusão de uma análise econômico-financeira é indicada para quantificar os ganhos obtidos com a otimização logística.

Por fim, propõe-se a integração do BIM com a realização de estudos comparativos com múltiplos empreendimentos, ampliando a robustez e a aplicabilidade dos resultados.

REFERÊNCIAS

- ADDOR, Miriam et al. **Estruturação do escritório de projeto para a implantação do BIM**. Guia ASBEA: Boas práticas em BIM, Fascículo 1. São Paulo, outubro de 2013. Disponível em: <http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/d6005212432f590eb72e0c44f25352be.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- ALVES, C. M. F.; CARVALHO, F. M. S. T. R.; ROQUE, J. M. G. F.; TEIXEIRA, J. P. M.; PEREIRA, J. P. S.; DEVESA, L. F. S. **O que são os BIM?** Universidade do Porto, 24 out. 2012. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2012_13/files/REL_12MC08_03.PDF. Acesso em: 05 fev., 2025.
- ALVES, T. da C. L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudo de caso**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12284**: áreas de vivência em canteiros de obras. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- AUTODESK. **Projete e construa com BIM**: modelagem de informação da construção. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/solutions/bim>. Acesso em: 27 jan. 2025.
- AZHAR, S. *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering*, v. 11, 2011.
- AZHAR, S.; HELO, P.; AHMED, I. *Building Information Modeling (BIM): Benefits, Risks and Challenges. Leadership and Management in Engineering*, v. 11, n. 3, p. 241-252, 2008.
- BARRETO, B. V; Sanches, J. L. G; Almeida, T. L. G; Ribeiro, S. E. C. **O Bim no Cenário de Arquitetura e Construção Civil Brasileiro**, 2016. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/4811/2442>. Acesso em: 06 fev, 2025.
- BÍBLIA. **Bíblia Sagrada**. Tradução de João Ferreira de Almeida. Almeida Corrigida Fiel. São Paulo: Sociedade Bíblica do Brasil, 2008. 832 p.
- BIBLUS. *BIM dimensions – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D BIM explained*. 2018.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 18**: Segurança e Saúde no Trabalho na Indústria da Construção. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora 24**: Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2024.

CARDOSO, N. F. **Implementação da metodologia BIM no planejamento de obras civis: desafios e benefícios**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2024. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/34786/2024_Cardoso_NF_TCC_Grad.pdf?sequencia=1. Acesso em: 11 fev. 2025.

CORRÊA, H. L. **Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP – conceitos, uso e implantação**. São Paulo: Atlas, 2001.

COSTA, A. C.; GIESTA, J. P.; MORAIS, K. S.; NASCIMENTO, T. C. **Estudo do layout de canteiros de obras: a importância de uma organização adequada**. CONACED – Congresso Nacional de Construção e Engenharia de Edificações, 2018.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2. ed. John Wiley & Sons, 2011.

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

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL – EECA/UFG. **Planejamento e controle: conceitos iniciais**. Universidade Federal de Goiás.

FORMOSO, C. T. **Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos**. Núcleo Orientado para a inovação da edificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.

FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

FRUIN, John J. **Pedestrian planning and design**. New York: Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, 1971.

GU, N.; LONDON, K. **Understanding and Facilitating BIM Adoption in the AEC Industry**. *Automation in Construction*, v. 19, n. 8, 2010.

HABITARE. **Projeto e implantação de canteiro de obras**. Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/projeto-e-implantacao-de-canteiro-de-obras/apostila-habitare>. Acesso em: 03 fev. 2025.

HINZE, J. W. **Construction safety**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

ILLINGWORTH, J.R. **Construction: methods and planning**. London: E&FN Spon, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Evolução do PIB da construção civil**, terceiro trimestre de 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works**,

including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. Geneva: ISO, 2018.

KOSKELA, L. *Application of the new production philosophy to construction.* Stanford: Stanford University, 1992. (CIFE. Report, 72).

LIBRAIN. **Layout do canteiro de obras:** laje térreo. [S. l.]: UTFPR, 2024. 1 imagem. Disponível em:

<https://i.pinimg.com/originals/2d/ac/5c/2dac5cdb845e8bacb9e8c09da4fe9d8e.jpg>. Acesso em: 27 jan. 2025.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras** (1. ed.). São Paulo: PINI, 2010.

MATTOS, J. R.; SOUZA, F. M. **Impactos do BIM na Construção Civil Brasileira:** Desafios e Oportunidades. *Revista de Engenharia Civil*, v. 25, n. 1, p. 45-60, 2020.

MELHADO, S. B. *et al.* **Coordenação de projetos de edificações.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

MIRANDA, R. D.; SALVI, L. **Análise da tecnologia Bim no contexto da indústria da construção civil brasileira.** *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.* Ano 04, Ed. 05, Vol. 07, pp. 79-98 Maio de 2019.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. **BIM site layout planning: An approach for the construction phase.** *Procedia Engineering*, v. 123, p. 568-575, 2015.

NASCIMENTO, D. L. de M. **O que é BIM? Conceito, aplicações e desafios da Modelagem da Informação da Construção.** Florianópolis: Instituto de Tecnologia Catarinense CERTI, 09 set. 2021. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/bim/>. Acesso em: 02 nov. 2024.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES. United States National Building Information Modeling Standard – NBIMS. Washington, D.C., 2007.

NÚCLEO DO CONHECIMENTO. **Tecnologia BIM na construção civil:** conceito, benefícios e desafios. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/tecnologia-bim>. Acesso em: 31 jan. 2025.

OLIVEIRA, I. L.; SERRA, S. M. B. **Análise da organização de canteiros de obras.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. Anais. Florianópolis: ENTAC, 2006. p. 2516 - 2521.

REV1 PROTEÇÕES COLETIVAS E TRABALHOS EM ALTURA. **Layout de canteiros de obras.** [s.d.]. Disponível em: https://rev1.com.br/featured_item/layout-de-canteiro/. Acesso em: 12 jan. 2025.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, and Contractors.** 3. ed. John Wiley & Sons, 2018.

SAURIN, T.A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obras de edificações**, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande Sul. Porto Alegre.

SAURIN, T. A.; FORMOSO, C. T. **Planejamento de canteiros de obras e gestão de processos**. Recomendações técnicas HABITARE. Porto Alegre, 2006.

SOUZA, U.E.L. **Projeto e implantação do canteiro**. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2000. 92p.

SPBIM – ARQUITETURA E ENGENHARIA DIGITAL. **CAD vs BIM**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.spbim.com.br/cad-vs-bim/>. Acesso em: 25 jan. 2025.

SUCCAR, B. **Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders**. *Automation in Construction*, v. 18, n. 3, 2009.

TOMMELEIN, I. D. **Site Layout Planning Using Simulation**: *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 118, n. 2, 1992.

TOMMELEIN, I. D.; ZOUEN, P. P. **Interactive dynamic layout planning**. *Journal of Construction Engineering and Management*, Reston, v. 119, n. 2, p. 266–287, 1993.

TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. **Look-ahead planning: screening and pulling**. Berkeley: University of California, Construction Engineering and Management Program, Civil and Environmental Engineering Department, 1997. Technical Report n. 97-9.

TOMMELEIN, I. D. **Discrete-event simulation of lean construction processes**. In: international group for lean construction conference, 5., 1997, Gold Coast, Queensland, Australia. *Proceedings*, Gold Coast: IGLC, 1997. p. 121–135.