



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CELINA CLARA NEVES NASCIMENTO

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
RACIONALIZADA COM O USO DO BIM E LEAN CONSTRUCTION: UM ESTUDO
DE CASO**

**JOÃO PESSOA
2024**

CELINA CLARA NEVES NASCIMENTO

**PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
RACIONALIZADA COM O USO DO BIM E LEAN CONSTRUCTION: UM
ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, como um dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Claudino Lins Nóbrega Júnior

JOÃO PESSOA
2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N244p Nascimento, Celina Clara Neves.

Planejamento da produção de uma alvenaria de vedação racionalizada com o uso do Bim e Lean Construction: um estudo de caso / Celina Clara Neves Nascimento. - João Pessoa, 2024.

64 f. : il.

Orientação: Claudino Lins Nóbrega Júnior.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Metodologia BIM. 2. Modelagem de Projetos. 3. Lean Construction. 4. Planejamento da Produção. I. Nóbrega Júnior, Claudino Lins. II. Título.

UFPB/BSCT

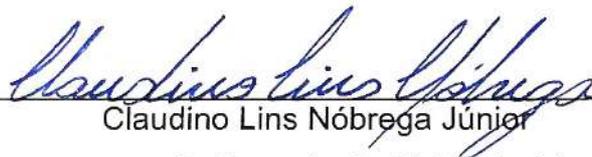
CDU 624(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

CELINA CLARA NEVES NASCIMENTO

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
RACIONALIZADA COM O USO DO BIM E LEAN CONSTRUCTION: UM
ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso em 24/10/2024 perante a seguinte Comissão
Julgadora:



Claudino Lins Nóbrega Júnior

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do
CT/UFPB



Aprovado



Cibelle Guimarães Severo

Universidade Federal da Paraíba

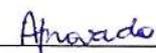


Aprovado



Luara Lopes de Araújo Fernandes

Universidade Federal da Paraíba



Aprovado

RESUMO

A necessidade de alta qualidade nos projetos é evidente no atual contexto de crescente complexidade das obras. Apesar dessa realidade, muitas construtoras ainda desconhecem todo o potencial dos benefícios que os projetos desenvolvidos em BIM podem oferecer. Outro aspecto contemporâneo e igualmente importante para os empreendimentos é o planejamento da produção. Atualmente, as ferramentas de *Lean Construction* são aplicáveis para incremento da produtividade dos serviços e transparência dos processos, alimentadas a partir das informações fornecidas pelos projetos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver o planejamento da produção da alvenaria de vedação racionalizada de um empreendimento residencial multifamiliar, localizado em João Pessoa, utilizando ferramentas BIM e conceitos do *Lean Construction*. A metodologia consistiu em modelar um projeto de alvenaria racionalizada em 3D, através do *Software Revit*. Em seguida, foi realizada a extração de quantitativos do serviço de execução de alvenaria de vedação. Além disso, o projeto foi levado para o *Software Navisworks*, onde foi dividido por pavimentos, contemplando a ideia de setorização, juntamente com a inclusão de datas da linha de balanço do empreendimento para simulações construtivas, o que possibilitou o desenvolvimento do planejamento assertivo de acordo com a necessidade de execução da construtora. Essa colaboração do BIM com o *Lean Construction* trouxe como principais benefícios a confiabilidade dos quantitativos retirados do projeto, bem como a agilidade na extração de informações de acordo com as divisões estabelecidas pela obra, resultando no eficaz planejamento da produção.

Palavras-chave: Metodologia BIM; Modelagem de Projetos; Lean Construction; Planejamento da Produção.

ABSTRACT

The need for high quality projects is evident in today's increasingly complex construction context. Despite this reality, many construction companies are still unaware of the full potential benefits that projects developed in BIM can offer. Another contemporary and equally important aspect for projects is production planning. Lean Construction tools are currently being used to increase the productivity of services and the transparency of processes, based on the information provided by projects. Therefore, the aim of this work is to develop production planning for the rationalized sealing masonry of a multi-family residential development located in João Pessoa using BIM tools and Lean Construction concepts. The methodology consisted of modeling a rationalized masonry project in 3D using Revit software, then extracting the quantities for the sealing masonry execution service. In addition, the project was transferred to Navisworks software, where it was divided into floors, taking into account the idea of sectorization, along with the inclusion of dates from the project's balance line for construction simulations, which made it possible to develop assertive planning according to the construction company's execution needs. The main benefits of this collaboration between BIM and Lean Construction were the reliability of the quantities taken from the project, as well as the agility in extracting information according to the divisions established by the project, which resulted in effective production planning.

Keywords: BIM Methodology; Project Modeling; Lean Construction; Production Planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Os 5 princípios da Mentalidade enxuta.....	14
Figura 02 – Dimensões do BIM.....	21
Figura 03 – Setor A representando em planta.....	27
Figura 04 – Planta de arquitetura do 2º Pavimento do Setor A.....	27
Figura 05 – Trecho da Linha de Balanço Setor A.....	30
Figura 06 – Planta de marcação dos Apartamentos tipo 01 e 02.....	33
Figura 07 – Planta de marcação dos Apartamentos tipo 03.....	34
Figura 08 – Elevação Parede 217 Apartamento Tipo 03.....	35
Figura 09 – Bloco Cerâmico de Vedação 09x19x19.....	36
Figura 10 – Seleção dos Pavimentos 1 e 2 no <i>Navisworks</i>	38
Figura 11 – Modelagem parede da varanda.....	40
Figura 12 – Modelagem parede do vazio/entrada do apartamento.....	41
Figura 13 – Modelagem executada no <i>Revit</i> da alvenaria de vedação do apartamento tipo 03.....	44
Figura 14 – Eletroduto Corrugado 25mm passando por dentro da parede.....	45
Figura 15 – Modelagem executada no <i>Revit</i> da alvenaria de vedação do 2º pavimento.....	50
Figura 16 – Trecho da Linha de Balanço inserida no <i>Navisworks</i>	52
Figura 17 – Simulação do serviço de Alvenaria de Vedação na data 12/03/2024.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Quantitativo de Vergas gerado pelo Revit.....	45
Tabela 02 – Quantitativo de blocos extraídos da modelagem BIM.....	46
Tabela 03 – Quantitativo de blocos do levantamento do projeto 2D.....	46
Tabela 04 – Quantitativo de vergas extraídos da modelagem BIM.....	47
Tabela 05 – Quantitativo de vergas do levantamento do projeto 2D.....	47
Tabela 06 – Kit de serviço do apartamento tipo 03 a partir da modelagem BIM.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Requisitos a serem incluídos no Escopo do Projeto.....	32
--	----

LISTA DE SIGLAS

PCP: Planejamento e Controle da Produção

BIM: *Building Information Modeling*

CAD: *Computer Aided Design*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos.....	11
1.2 Metodologia	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Filosofia e ferramentas Lean Construction	13
2.2 Planejamento e Controle de Obras.....	16
2.3 Gestão do Processo de Projeto	19
2.4 Modelagem BIM e Gestão de Projetos	21
2.5 Alvenaria Racionalizada	24
3. ESTUDO DE CASO.....	26
3.1 Caracterização da empresa e do empreendimento	26
3.2 Necessidades do serviço de alvenaria de vedação	28
3.3 Definições do Escopo do Projeto.....	31
3.4 Modelagem do Projeto de Alvenaria no Revit.....	32
4. DISCUSSÃO E RESULTADOS	43
4.1 Comparativo do modelo 2D para o modelo 3D.....	43
4.2 Extração de quantitativos através de ferramentas BIM	48
4.3 Aplicação do Lean Construction no PCP	49
4.4 Visualização do Planejamento em 4D	51
4.5 Resultado do Planejamento da Produção da Alvenaria de Vedação	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	57
APÊNDICE A – Kit de serviço do apartamento tipo 03.....	61
APÊNDICE B – Dimensionamento de equipes	62
APÊNDICE C – Fluxo do serviço do 2º ao 4º pavimento da equipe 01	63
APÊNDICE D – Fluxo do serviço do 2º ao 4º pavimento da equipe 02.....	64

1. INTRODUÇÃO

As elaborações de projetos destinados à construção civil no cenário atual estão com responsabilidades que vão além dos cálculos, pode-se citar como pontos diferenciais a facilidade de leitura dos projetos, acesso a informações rápidas de quantitativos, compatibilização com outras disciplinas, alternativas para redução de custos na execução, dentre outros. Sabe-se que diante dos pontos supracitados, os projetos feitos através da metodologia BIM possuem artifícios para atender essas exigências, pois segundo Eastman et al. (2011):

Building Information Modeling (BIM) é um dos desenvolvimentos mais promissores nas indústrias de arquitetura, engenharia e construção (AEC). (...) Quando bem adotado, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrados que resulta em edifícios de melhor qualidade a um custo menor e duração reduzida do projeto.

Dito isso, para adequação ao mercado e personalização de projetos para cada tipo de empreendimento construído, oferecer projetos com diferenciais que atendam às necessidades dos clientes (construtoras e incorporadoras) pode ser de extrema importância e relevância.

Em paralelo a isso, temos a importância do planejamento e controle da produção de serviços (PCP), que de acordo com Koskela (1992), constitui-se de um mecanismo manufatureiro longo, passando a ser empregado, atualmente, pelo *Lean Construction* em razão de possibilitar que resultados sejam alcançados de forma positiva. Logo, por meio do que é planejado, decisões podem ser tomadas de maneira antecipada, fazendo com que problemas sejam evitados no decorrer de serviços de produção, e por intermédio do controle seja possível realizar uma melhoria contínua daquilo que foi estabelecido anteriormente. Os dados necessários para elaboração desse planejamento devem ser levados em consideração na elaboração do escopo das informações solicitadas de um projeto.

Além disso, é cada vez mais difundida a aplicação de ferramentas da filosofia *Lean Construction* nos canteiros de obras. Através dos princípios que compõem o *Lean*, temos aqueles que se alinham ao planejamento da produção e garantem sua aplicabilidade em campo. Como diz uma das referências em *Lean* no mundo, Koskela (2000), "O controle da produção é baseado em planos preparados centralmente a serem realizados pelos operadores."

Logo, se um projeto complementar, como o de alvenaria de vedação racionalizada, é feito visando também o fornecimento de informações para a

elaboração do planejamento da produção do serviço de alvenaria, a construtora pode otimizar o tempo da equipe administrativa de obra, garantir informações verídicas para fechamentos de pacotes de serviço e compras de materiais, definir previamente fluxos de serviço, além de evitar desperdícios e tempo ocioso (de espera) por causa de tomadas de decisões demoradas, erros humanos em levantamentos quantitativos, além da vantagem de aplicar ferramentas *Lean* com maior agilidade e precisão.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo principal realizar o planejamento da produção da alvenaria de vedação racionalizada de um empreendimento, localizado em João Pessoa, com auxílio de um projeto em 2D que foi modelado em BIM, atendendo às necessidades da obra e com a aplicação de conceitos da filosofia *Lean Construction*.

1.1.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos, pode-se pontuar: demonstrar como a empresa deve definir requisitos para o recebimento de um projeto de alvenaria de vedação feito em BIM, com o objetivo de atender às necessidades internas da obra, em alinhamento com as ferramentas do *Lean Construction*, recorrentemente aplicadas nos empreendimentos da construtora.

Além disso, definir os quantitativos de todos os materiais que serão utilizados no serviço de alvenaria racionalizada, setorizados de acordo com a necessidade de execução, compras e planejamento da obra através do BIM. Além disso, o estudo tem o objetivo de demonstrar como um projeto feito através da metodologia BIM pode alinhar-se a ferramentas da filosofia *Lean Construction* para obter um Planejamento da Produção do Serviço de Alvenaria de Vedação.

1.2 Metodologia

Primeiramente, demonstrou-se através de uma lista de inclusões de informações que devem estar presentes no escopo do projeto, como a empresa

deveria definir esses requisitos para o recebimento de um projeto de alvenaria de vedação feito em BIM, com o objetivo de atender às necessidades internas da obra. Isso foi feito em alinhamento com as ferramentas do *Lean Construction*, recorrentemente aplicadas nos empreendimentos da construtora, assegurando que o projeto atendesse aos padrões de eficiência e qualidade estabelecidos.

Em seguida, levantaram-se os quantitativos de todos os materiais que seriam utilizados no serviço de alvenaria racionalizada através de uma modelagem executada no *Revit*. Esses quantitativos foram setorizados de acordo com as necessidades de execução, compras e planejamento da obra, utilizando as capacidades do BIM para garantir precisão e facilitar a gestão dos recursos durante todo o processo.

Além disso, demonstrou-se como um projeto feito através da metodologia BIM poderia alinhar-se às ferramentas da filosofia *Lean Construction*. Essa demonstração evidenciou como a integração dessas metodologias resultava em processos mais eficientes, redução de desperdícios e maior valor agregado ao projeto final, beneficiando tanto a construtora quanto os clientes.

Por fim, fez-se um comparativo da entrega de um projeto de alvenaria de vedação racionalizada em 3D, desenvolvido através da metodologia BIM, em relação ao projeto existente em 2D, feito utilizando o *AutoCAD*. Esse comparativo destacou as vantagens do BIM em termos de visualização, detalhamento e precisão, mostrando como a transição para o BIM poderia trazer melhorias significativas para a execução e gestão dos projetos de alvenaria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Filosofia e ferramentas Lean Construction

O conceito de *Lean Construction* emergiu na década de 1990, derivado do sistema de produção enxuta (*Lean Production*) desenvolvido pela Toyota. Inicialmente, o *Lean Production* focava na eliminação de desperdícios e na melhoria contínua no setor automobilístico. Lauri Koskela, em 1992, publicou um trabalho acadêmico de destaque intitulado “*Application of the new production philosophy in the construction industry*” (Aplicação da nova filosofia de produção na indústria da construção), no qual ele avaliou a aplicabilidade do sistema de produção enxuta da indústria automobilística na indústria da construção civil e assim originou a chamada “Construção Enxuta”.

Pode-se afirmar que as ideias e discussões de Koskela (1992) foram determinantes na aplicação dos conceitos de *Lean* na construção civil no mercado brasileiro. Ele destacava, na época, a necessidade de uma abordagem mais integrada e eficiente para a gestão de projetos nos empreendimentos. As primeiras discussões e aplicações do *Lean Construction* no Brasil ocorreram no final dos anos 1990 e início dos anos 2000, impulsionadas pelas iniciativas acadêmicas e pela demanda por maior competitividade no mercado.

Na época, a implementação da filosofia *Lean* no Brasil encontrava vários pontos de exploração, devido às características do próprio mercado, que demandava diversas melhorias nos processos e na redução de custos. Segundo Formoso *et al.* (2000), diversos diagnósticos realizados no Brasil e no exterior indicam que a maioria dos problemas que resultam em baixos patamares de eficiência e qualidade na construção civil têm origem em problemas gerenciais.

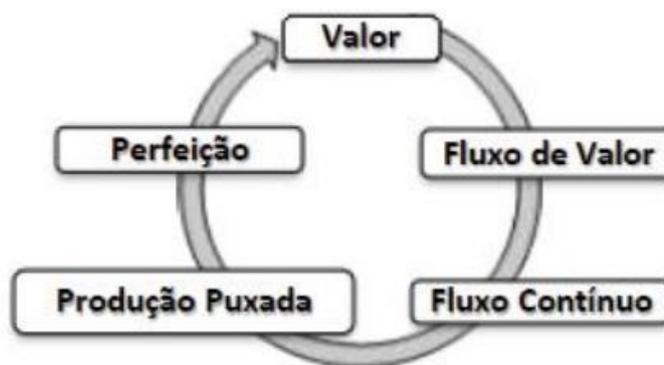
Ademais, para entender como funcionam as ferramentas *Lean* é importante saber que o *Lean thinking* (pensamento enxuto) é a ampliação do escopo de atuação do *Lean production* ou *Lean manufacturing*. Womack e Jones (2004) define cinco princípios para compreender a abrangência da filosofia *Lean*:

1. Valor: esse ponto tem como base entregar valor do ponto de vista do cliente;
2. Cadeia de Valor: análise e identificação dos processos que agregam valor inclusive em atividades interdependentes. Logo, é necessário eliminar as atividades que não agregam valor;

3. Fluxo: manter processos com fluxos contínuos fluindo, eliminando as causas que levam a espera, retrabalhos e a baixa qualidade de produtos e serviços;
4. Puxar: produzir segundo a demanda do cliente, na quantidade e hora certa para o momento correto. Dito isso, é preciso elaborar processos em que as partes envolvidas tenham conhecimento do próximo passo a ser executado;
5. Perfeição: está ligada ao conceito de melhoria contínua (Kaizen), sempre é possível melhorar sistemas e processos que já existem.

Com base nesses princípios, o *Lean thinking* visa melhorar a produtividade, eficiência e qualidade de produtos ou serviços, utilizando a menor quantidade de recursos possíveis, conforme mostra a Figura 01 (PFAFFENZELLER, 2015).

Figura 01 – Os 5 princípios da Mentalidade enxuta



Fonte: Pfaffenzeller (2015)

Logo, a partir dos princípios que ditam a filosofia *Lean production*, segundo Koskela (1992), a Construção Enxuta utiliza-se de onze princípios básicos que norteiam a aplicação dessa filosofia, são eles:

1. Reduzir atividades que não agregam valor;
2. Aumentar transparência do processo;
3. Aumentar o valor do produto através das necessidades do cliente;
4. Focar o controle em todo o processo;
5. Reduzir variabilidade;
6. Buscar melhoria contínua no processo;
7. Redução de tempo de ciclo produtivo;

8. Manter um equilíbrio entre melhorias e fluxos;
9. Simplificar através da redução do número de passos ou partes;
10. Benchmarking;
11. Aumentar a flexibilidade de saída.

Esses princípios, além de fundamentais para a aplicação eficaz do *Lean* na construção civil, também são adaptados para atender às particularidades dos projetos de construção.

Além dos princípios citados, temos o conceito de produção puxada, mencionada anteriormente no princípio *Lean* “Puxar”. Na lógica da “produção puxada” pelo cliente, o fornecedor produzirá somente quando houver demanda de seu cliente (SARCINELLI, 2008). Nas obras, alguns dos componentes tendem a ser únicos, o que dificulta a composição de lotes de peças e implantação da produção puxada (BORGES JR, C. A. *et al.*, 2008).

A organização enxuta inclui também uma visão sistêmica dos clientes que implica mudanças para um sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) que tem foco na integração de quase todas as áreas funcionais da unidade de negócio (SANTOS, 2010).

O PCP é responsável pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos, de modo a atender da melhor forma possível aos planos estabelecidos nos níveis estratégico, tático e operacional (LUSTOSA *et al.*, 2008).

Nesse contexto, muitas empresas de construção apresentam diversas limitações quanto aos seus sistemas de planejamento e controle da produção (PCP), resultando em obras com pouca previsibilidade, grande rotatividade e variadas ocorrências de improvisações (*making-do*), problemas que estão fortemente relacionados à variabilidade nos processos de produção (Deschamps *et al.*, 2015).

Além disso, tratando-se de um PCP, é importante definir fluxos de serviços com base na logística e localização. Segundo Ballard e Tommelein (2021), o Planejamento e Controle Baseado em Localização (*Location Based Planning and Control – LBPC*) pode ser definido como uma abordagem de PCP que torna explícito os fluxos de produtos e de trabalho (trabalhadores), levando em consideração a disponibilidade e limitações de espaço.

A padronização é apontada como um dos principais mecanismos de gestão para a redução da variabilidade no processo produtivo (Saffaro, 2007). Essa

sistematização em obras permite que a ação de repetição promova o aumento da produtividade e a redução de erros no processo produtivo.

A aplicação do *Lean* na construção civil tem grande importância, devido ao fato da indústria ser pouco mecanizada, principalmente no Brasil. Logo, com o auxílio de ferramentas *Lean* é possível ter uma notável melhoria de qualidade, sustentabilidade e redução de custos em obras:

A construção civil é caracterizada por altos indicadores de desperdício, produtos com baixa qualidade, grande ocorrência de patologias construtivas, processos ineficientes e ineficazes e, por isso mesmo, mostra-se como um campo promissor aos resultados que podem ser obtidos através da aplicação dos conceitos da construção enxuta (JUNQUEIRA, 2006).

Além das ferramentas supracitadas, podemos pontuar as técnicas de gestão visual e do 5S que também são utilizadas na filosofia *Lean* e são recomendadas para um ambiente de trabalho mais organizado e eficiente.

A implementação das práticas mencionadas resulta em fluxos de trabalho mais eficientes, redução de custos e aumento da satisfação dos colaboradores e do cliente final. Dito isso, atualmente, essas ferramentas são cruciais para o planejamento eficaz da produção de serviços na construção civil, além de contribuir para o aumento da competitividade no mercado, devido aos benefícios advindos do *Lean*.

2.2 Planejamento e Controle de Obras

Contextualizando o Planejamento de Obras, as primeiras ferramentas de planejamento surgiram no início do século XX, impulsionadas pela necessidade de sistematizar e melhorar a eficiência dos processos construtivos.

Um marco importante foi a introdução do diagrama de Gantt. Trata-se do método mais simples e amplamente utilizado tanto para planejamento quanto para controle de obras na construção civil (Mendes Jr., 1999). Essa ferramenta foi fundamental para o desenvolvimento de métodos mais sofisticados de planejamento e controle de projetos.

A evolução do gráfico de Gantt resultou no que hoje é conhecido como linha de balanço, o planejamento de longo prazo das obras. Segundo Mendes Jr. (1999), os passos para a aplicação da Linha de Balanço estão intimamente relacionados com a tomada de decisões táticas ou operacionais, que originam os principais fatores intervenientes na programação da construção. Assim como outras técnicas de

programação de obra baseadas em produtividade, a linha de balanço exige o dado básico que é o pacote de serviço a se executar e principalmente a produtividade da equipe, fatores cruciais para determinar a demanda de mão de obra necessária para executar a tarefa (PRADO, 2002).

O planejamento da produção em obras é o processo de definição e organização das atividades necessárias para a execução de um projeto de construção, visando otimizar o uso de recursos e assegurar a conclusão dentro dos prazos e custos estabelecidos.

É importante ressaltar que as informações retiradas dos projetos têm grande relevância para um bom planejamento da produção. Segundo Aquino (2004), quando um projeto feito para produção é elaborado somente por ocasião do desenvolvimento do projeto executivo, costuma não ter o mesmo potencial de racionalização que teria se tivesse sido iniciado na fase de anteprojeto, que seria mais desejável.

De acordo com TUBINO (2009), pode-se dividir o horizonte de planejamento de um sistema produtivo em três níveis: o longo, o médio e o curto prazo. Onde esses prazos estão relacionados às atividades estratégicas, táticas e operacionais das empresas.

Mattos (2019) afirma que o planejamento físico de uma obra é uma das principais etapas do gerenciamento, pois, quando realizado de forma concreta, o gestor é capaz de priorizar suas ações, avaliando o avanço dos serviços e comparando com a linha de base estabelecida, de forma a corrigir possíveis desvios.

Ademais, é preciso fazer o acompanhamento e ajustes conforme necessário no planejamento inicialmente elaborado. “O planejamento de uma obra não se esgota na preparação do cronograma inicial. É preciso monitorar o avanço das atividades e averiguar se o cronograma é obedecido ou se há variação entre o que foi previsto e o que vem sendo realizado no campo” (Mattos, 2019).

O controle torna-se essencial para promover a execução da obra de forma coordenada, pois é através desse processo que ocorre a identificação das atividades e, conseqüentemente, atualização do cronograma, visando buscar corrigir possíveis desvios (Mattos, 2019). A integração entre planejamento e execução é garantida através de reuniões periódicas de acompanhamento e ajustes no plano, conforme necessário.

Um bom planejamento de obras traz diversos impactos positivos para os projetos de construção. Primeiramente, contribui para a redução de desperdícios e a otimização dos recursos, o que resulta em economia de custos.

O Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos (IBEC) destaca os principais problemas que impactam diretamente no planejamento, na gestão e na execução de obras, pois evitá-los permite manter o cronograma e evitar custos adicionais a um determinado projeto. Dito isso, uma boa compreensão das etapas da obra, como planejamento, projeto e execução, possibilita a identificação dos riscos, facilitando, conseqüentemente, a resolução de imprevistos.

Além disso, o IBEC (2020) apresenta uma lista dos principais fatores que frequentemente causam problemas durante a execução das obras, podemos citar como relevantes:

- Mau dimensionamento de equipes e recursos: um erro que pode ocorrer tanto no planejamento quanto na execução. É possível mencionar falhas, como a falta de um bom planejamento físico e financeiro ou a má alocação de equipes e recursos;
- Erros de projeto e falta de compatibilização: problemas extremamente comuns na gestão dos projetos de um empreendimento. A ausência de detalhamento e de memorial descritivo, ausência de compatibilização e identificação de interferências são apenas alguns exemplos desses tipos de erro;
- Erros durante a execução da obra: nesse item, são problemáticas ligadas a questões operacionais e comportamentais, pois podem ocorrer devido à falta de qualificação profissional, desperdícios de matérias, dentre outros.

Dentre os fatores citados, o segundo ponto enfatiza os erros advindos de projeto. Segundo Corrêa e Andery (2006) e Maneschi e Melhado (2008), embora seja inegável a contribuição do projeto para produção e a aproximação entre o produto e a produção, há ainda muitos problemas relativos ao desenvolvimento e à utilização dos projetos na construção.

Pereira Filho, Rocha e Silva (2004) alegam que planejar pode ser entendido como a antecipação de todos os fatores que concorrem à transformação intencional

de insumos em produtos, assim como das consequências deste processo. Outro impacto positivo é a melhoria na comunicação e coordenação entre as equipes de trabalho, o que reduz conflitos e aumenta a produtividade.

Para realizar um bom planejamento de obras, o planejador deve considerar diversos fatores e informações cruciais. Formoso *et al.* (2000) afirma que, devido à complexidade dos empreendimentos e da variabilidade dos processos, existe uma necessidade de dividir o planejamento e controle da produção em três níveis hierárquicos, citados anteriormente no capítulo de *Lean Construction*, sendo eles:

a) Nível Estratégico – Resume-se em definir os objetivos do empreendimento de acordo com o perfil do cliente, envolvendo estratégias para atingir o objetivo geral do projeto, como definição de prazos, fontes de custeio, parcerias etc.;

b) Nível Tático – Incorpora a seleção e a aquisição dos recursos necessários para atingir o objetivo do empreendimento, como tecnologia, materiais, mão de obra e equipamentos, incluindo a elaboração do planejamento para utilização dos recursos;

c) Nível Operacional – resume-se em elaborar o planejamento propriamente dito para definir detalhes das atividades a serem executadas.

Logo, o planejador de obras necessita ainda de habilidades de comunicação e liderança para coordenar as equipes e assegurar que todos os envolvidos compreendam e sigam o plano estabelecido, englobando as tarefas que envolvem tanto o planejamento dos serviços quanto a aplicação de ferramentas *Lean Construction* em campo.

2.3 Gestão do Processo de Projeto

Segundo Manzione, Melhado e Nóbrega Júnior (2021), para realizar a gestão de um projeto, é indispensável que ele seja definido, planejado, executado e controlado como um processo. Dito isso, a fase de elaboração de projetos na construção civil deve ser tratada com a devida importância de um processo que irá influenciar diretamente uma construção que envolve custos, acessibilidade, eficiência, segurança, entre outros parâmetros.

Ademais, o processo de elaboração do projeto deve ser minuciosamente acompanhado, uma vez que “um processo nada mais é do que uma sequência organizada e predeterminada de atividades, associada a seus respectivos

instrumentos de controle, orientados a se atingirem determinados objetivos” (MANZIONE; MELHADO; NÓBREGA JÚNIOR, 2021). Cada tipo de disciplina de projeto na indústria da construção tem seus objetivos finais, como um dimensionamento seguro que atende às demandas para as quais será designado desempenhos de sistemas, estética, exequibilidade, compatibilidade, dentre outros.

Segundo a NBR ISO 19650-1, é determinado um nível mínimo de informação necessário para cada pacote entregável e deve ser determinado em acordo com seu propósito de uso. É importante que o cliente, a exemplo de uma incorporadora, defina quais são os itens e informações relacionados ao projeto que precisa receber nas entregas de seu contratado, além dos requisitos supracitados anteriormente.

De acordo com Manzione, Melhado e Nóbrega Júnior (2021), algumas atividades fazem parte dessa gestão do processo de projeto, podemos citar como exemplos:

- a) Estabelecimento de objetivos e parâmetros para o processo de projeto;
- b) Definição dos escopos de projeto, segundo as especialidades e etapas de cada um;
- c) Garantia da qualidade das soluções técnicas adotadas em projetos;
- d) Integração das soluções de projeto com as fases subsequentes do empreendimento, particularmente na interface com o planejamento, orçamento e execução das obras.

Dito isso, é perceptível que a gestão do processo de projetos em empresas deve ser realizada e acompanhada por profissionais capacitados para que garantam que o projeto atenda aos objetivos da empresa, do empreendimento ou da obra em que será utilizado.

Além disso, “o emprego do projeto para produção das vedações verticais - PPVV tem sido apontado como mecanismo de grande potencial para a melhoria do processo de projeto na construção brasileira” (Casado; Melhado, 2011), ou seja, o projeto impacta no serviço de maneira positiva quando promove a resolução de incompatibilidades e sana as dificuldades de execução que são visualizadas antes da execução, a partir de uma proposta de projeto bem elaborada.

2.4 Modelagem BIM e Gestão de Projetos

O *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem de Informação da Construção é uma metodologia que tem revolucionado a indústria ao longo dos anos. Segundo Coelho e Novaes (2008), os sistemas baseados na tecnologia BIM podem ser considerados uma evolução dos sistemas do tipo *Computer Aided Design* (CAD), pois, diferentemente destes, é através de um banco de dados que são gerenciadas as informações pertinentes ao ciclo de vida de uma edificação na metodologia BIM, juntamente com a integração de uma modelagem em três dimensões.

Ademais, essa metodologia não se limita apenas a um modelo tridimensional de projetos de arquitetura e engenharia, ela também integra diversas informações relevantes, como por exemplo as especificações e quantidades de materiais, a inserção de cronogramas de planejamento e custos correlacionados em modelos 5D, dentre outros aspectos que promovem uma colaboração mais eficiente entre as várias equipes envolvidas no processo de elaboração do projeto e na execução da construção.

Podemos ainda demonstrar as dimensões que existem atualmente na metodologia BIM, na Figura 02. É importante salientar que, a cada dimensão, é aumentado o nível de informação do modelo, seja com custo, desempenho etc.

Figura 02 – Dimensões do BIM



Fonte: Sienge (2020)

Logo, com uso da metodologia é permitido visualizar e corrigir os problemas ainda na fase de elaboração dos projetos, prevenindo dificuldades que possam surgir

na obra devido a erros no processo, e assim, conseqüentemente, otimizar recursos e custos. Além disso, através de modelos tridimensionais detalhados e parametrizados, engenheiros e arquitetos conseguem visualizar de forma precisa cada elemento do projeto, podendo identificar, assim, as interferências e incompatibilidades das disciplinas envolvidas.

Segundo Carvalho Júnior (2023), em uma mesma base de um grande projeto, temos diversos subsistemas que formam um empreendimento, proporcionando uma visão sistêmica geral da obra. Essa integração de sistemas permite uma interação colaborativa entre os diversos profissionais envolvidos no processo, oferecendo uma visão holística do projeto, que facilita a gestão e a tomada de decisões com mais rapidez e assertividade ainda na fase de elaboração.

No contexto do chamado BIM 1.0, os softwares paramétricos substituem os modelos CAD 2D, trazendo benefícios como uma melhor coordenação e maior agilidade na produção de informações.

O conceito do termo “objetos paramétricos” é essencial para a compreensão do BIM e apresenta diferenças importantes em relação aos objetos tradicionais em elaborados em 2D. Conforme descrito por EASTMAN *et al.* (2008), os objetos paramétricos no BIM possuem as seguintes características:

- a) são definidos por suas propriedades geométricas, dados e regras associadas;
- b) a geometria dos modelos BIM é integrada, sem redundância e sem permitir inconsistências;
- c) as regras paramétricas dos objetos ajustam automaticamente as geometrias quando inseridos em um modelo de edifício ou quando alterações são feitas para associar objetos;
- d) os objetos podem ser organizados em diferentes níveis de hierarquia, possibilitando, por exemplo, a definição de uma parede a partir de seus componentes relacionados;
- e) as regras dos objetos identificam quando uma alteração específica não se alinha com as características do objeto, como tamanho, fabricação etc.;
- f) os objetos no modelo BIM são capazes de se conectar, receber, transmitir ou exportar um conjunto de atributos, como materiais estruturais, dados orçamentários, energéticos, acústicos, entre outros, para outras aplicações e modelos.

Diante disso, qualquer tecnologia que permita ao usuário criar modelos de edifícios baseados em objetos paramétricos é definida como uma ferramenta BIM (EASTMAN *et al.*, 2008).

De acordo com Carvalho Júnior (2023), quando falamos em extração de quantitativos dos modelos BIM, o ganho de produtividade e precisão são evidentes. Isso se deve ao fato da contagem automática que é feita pelos programas toda vez que um elemento é inserido no projeto. Além da contagem do item, também é possível extrair informações, como dimensões do elemento, diâmetros, comprimentos de tubulações, dentre outros dados.

O BIM também promove uma nova forma de pensar o ciclo de vida das construções. De acordo com Carvalho Júnior (2023), através de correções no projeto de acordo com a forma em que foi executado (*As Built*), esse modelo pode gerar toda informação gráfica necessária para elaboração de um bom manual da edificação, como por exemplo o manual de uso, operação e manutenção.

Ademais, a implementação do BIM traz desafios que não podem ser ignorados pelo mercado. Segundo Eastman (2014), o baixo número de usuários que utilizam a modelagem da informação da construção civil está relacionado com a pouca valorização e investimentos em inovações tecnológicas por parte do setor. Em um primeiro momento, essa transição tende a representar um custo elevado para as empresas. No entanto, diante dos benefícios a longo prazo, como redução de desperdícios, otimização de processos e melhoria na qualidade das construções, acaba compensando os investimentos iniciais.

Elaborando uma ligação com o capítulo anterior, é perceptível que é possível desenvolver uma conexão entre planejamento de obras e metodologia BIM, através de projetos executados com o objetivo de auxiliar nos cronogramas que irão ser utilizados durante a execução da obra, facilitando assim as tomadas de decisão e possíveis ajustes que precisem ser feitos tanto nos cronogramas quanto nos projetos propriamente ditos.

Logo, podemos citar algumas atividades impactadas com as informações retiradas da modelagem BIM, são elas: quantidades e cronograma de compras de materiais, acompanhamento de produtividade para gestão e planejamento, sequência e fluxo de execução do serviço, separação de informações para execução, definição

da logística do serviço, dentre outros. Todos esses fatores supracitados corroboram com o planejamento da produção de serviços de maneira geral.

2.5 Alvenaria Racionalizada

A alvenaria racionalizada é uma técnica construtiva que tem como objetivo principal melhorar os processos na construção, evitando os custos e reduzindo de desperdícios. Como afirma Franco (1998):

O desenvolvimento do projeto das vedações verticais como o próprio conceito de racionalização construtiva deve buscar uma maior abrangência de objetivos e ser desenvolvido com uma visão holística para que realmente permita a obtenção dos importantes resultados para a produtividade e redução dos custos de construção que se espera na aplicação destas ferramentas.

Diante disso, a racionalização construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que objetivam otimizar o uso de recursos materiais, humanos, energéticos, tecnológicos, organizacionais, temporais e financeiros disponíveis na construção, em todas as suas etapas (Sabbatini, 1989 apud Duenas, 2003). Dessa forma, a alvenaria racionalizada contribui significativamente para a sustentabilidade dos projetos de construção.

Um dos principais benefícios da alvenaria racionalizada é a melhoria da qualidade nas construções. A racionalização da alvenaria de vedação pode representar um ganho bastante significativo dos empreendimentos ao longo de sua vida útil (Lordsleem, 2011). Isso não só facilita os trabalhos subsequentes, a exemplo de instalações elétricas, reboco e revestimento, mas também aumenta a durabilidade das edificações. Além disso, a padronização dos componentes reduz a necessidade de retrabalhos, o que é um fator crucial para a eficiência dos projetos e a produtividade de execução.

A adoção da técnica de alvenaria racionalizada também tem um impacto positivo na segurança do trabalho. A disposição ordenada dos materiais e a previsibilidade das atividades permitem um ambiente mais seguro para os colaboradores, evitando a ocorrência de acidentes, promovendo, conseqüentemente, melhores condições de trabalho.

Além disso, outro aspecto relevante da alvenaria racionalizada é a diminuição dos custos. O custo desse sistema corresponde de 3% a 6% de todo edifício, podendo

passar dos 20% considerando sua interface com os demais subsistemas (estrutura, instalações, revestimentos, entre outros) (Barros, 1998). Logo, vale ressaltar a importância da racionalização de uma alvenaria de vedação, tendo em vista os custos gerados por problemas decorrentes da interface entre os demais subsistemas, de retrabalho, de desperdício e futuros problemas patológicos (Duenas, 2003).

Dito isso, a alvenaria racionalizada também contribui para a sustentabilidade ambiental das construções. Como é dito por John (2001), a construção civil carrega o troféu nada confortável de maiores produtores de resíduos sólidos de toda a sociedade. As práticas de redução de desperdícios são práticas que colaboram com os princípios de construção sustentável, que visam minimizar o impacto ambiental dos processos construtivos. Dessa forma, uma alvenaria racionalizada não promove apenas a eficiência econômica, mas também a sustentabilidade ambiental.

Trazendo a alvenaria racionalizada para a aplicação do PCP, o planejamento inicial da produção inclui etapas como a análise do projeto arquitetônico, projeto de marcação de alvenaria e elevações de alvenaria, além da determinação das quantidades de materiais (tijolos, cimento, areia), da sequência de execução e a alocação de equipes de produção.

Logo, diante do que foi pontuado, a importância do projeto para a produção na construção civil converge com a afirmação feita por Slack *et al.* (1997): "as atividades de projeto (compreendidas tanto pelo projeto do produto como do sistema de produção) representam a forma mais básica de obtenção de vantagem competitiva na busca do alcance dos objetivos estratégicos da produção".

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Caracterização da empresa e do empreendimento

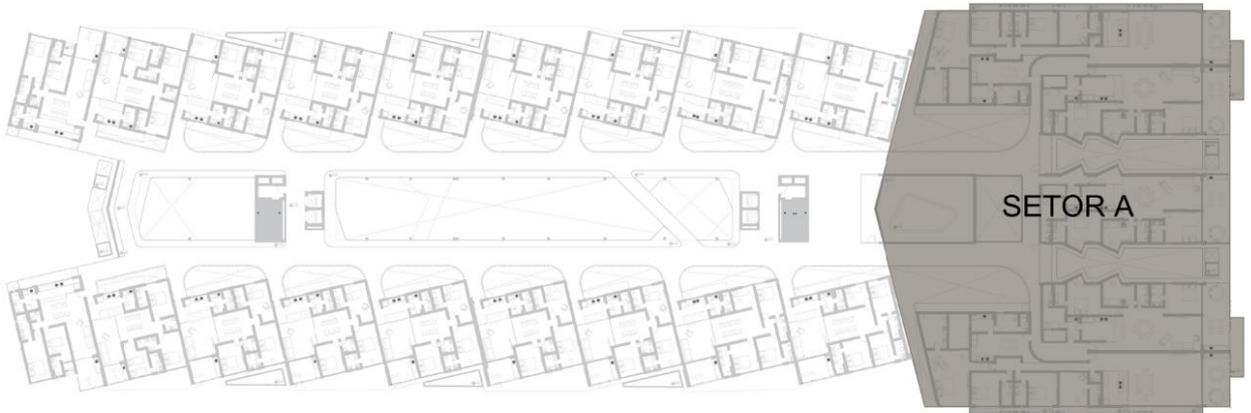
A construtora que está executando o empreendimento em estudo desenvolve obras no Rio Grande do Norte e na Paraíba. Por sua vez, a obra estudada tem sua localização no Cabo Branco, em João Pessoa, na Paraíba.

O empreendimento usado para realizar esse estudo se trata de um residencial de alto padrão, com 48.057,51m² de área construída, com apartamentos de 99m² a 397m² de área interna, 131 unidades no total e 6 pavimentos. A arquitetura do empreendimento pode ser classificada como inovadora, já que foge da normalidade de prédios “de plantas ortogonais”. Diante do prazo do planejamento da obra (cerca de 3 anos), é um grande desafio iniciar os serviços com todas as informações previamente definidas que são necessárias para organização de compras, distribuição de equipes, definições de fluxo do serviço, dentre outros.

O serviço impactado por esse estudo será o de alvenaria de vedação racionalizada, já utilizada no empreendimento, porém executada com auxílio de um projeto 2D feito no *Software AutoCad*. Todos os levantamentos são feitos através da contagem à mão e registrados no Excel pelos projetistas, já outros são realizados dentro da própria obra. Esses levantamentos são utilizados para realização de compras de materiais, para a elaboração de *Kit's* de serviço, a definição de planejamentos de curto e médio prazo, dentre outras decisões. Vale salientar que a empresa já faz uso de algumas ferramentas da filosofia *Lean Construction* dentro das obras.

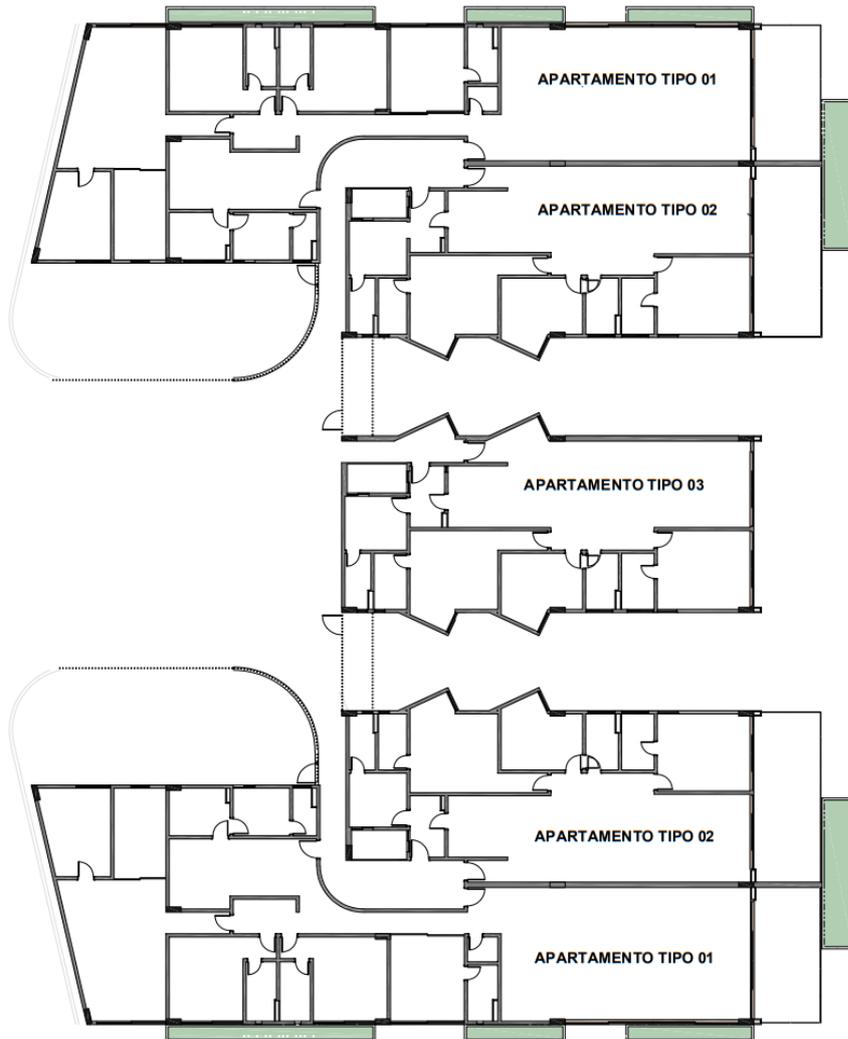
A execução da obra foi dividida em 3 setores por questão de planejamento e logística, pois se trata de um empreendimento de grande comprimento horizontal, a identificação do Setor A se encontra na Figura 03. Por motivos de praticidade, para o estudo em questão, foi feito o planejamento da produção da alvenaria de vedação do pavimento tipo (planta do 2º ao 4º pavimento) do Setor A que se encontra na Figura 04, sendo importante ressaltar que nesse setor existem apenas apartamentos do térreo ao 4º pavimento.

Figura 03 – Setor A representando em planta



Fonte: Planta de arquitetura cedida pela construtora

Figura 04 – Planta de arquitetura do 2º Pavimento do Setor A



Fonte: Planta de arquitetura cedida pela construtora

3.2 Necessidades do serviço de alvenaria de vedação

Para o empreendimento em questão, a alvenaria de vedação racionalizada é uma atividade que envolve uma grande variedade de materiais, exigindo, assim, um planejamento detalhado e uma boa logística para que sua execução seja eficiente e produtiva. Um exemplo de material que precisa de uma maior atenção na logística são os blocos cerâmicos, devido à grande quantidade utilizada e o tamanho do material.

Sendo assim, esse serviço necessita de uma organização prévia de ferramentas e equipes, que deve ser definida antes do início do serviço, ou seja, todos os detalhes e materiais devem estar na obra antes de liberarem para iniciar as atividades em campo. A seguir, foram listados os principais itens envolvidos em um serviço de alvenaria de vedação racionalizada:

- Famílias de tijolos;
- Vergas pré-moldadas;
- Eletrodutos corrugados de 25mm para passagens elétricas e de telecomunicações;
- Telas metálicas para amarração;
- Pinos para fixação das telas;
- Tubos de PVC de 25mm para drenos de ar-condicionado;
- Barras de aço com bitola de 10mm;
- Graute para canaletas;
- Argamassa para assentamento;
- Ferramentas para pedreiros;
- Projeto de elevação de paredes;
- Fluxo de serviço definido;
- Definição de equipes definida;
- *Kit's* de serviço por apartamento.

Os elementos listados são essenciais para garantir a execução de um serviço de qualidade, evitando, assim, problemas com as equipes de produção. Além disso, uma organização eficiente das equipes e a separação prévia dos materiais são itens que corroboram para evitar atrasos e garantir um fluxo de trabalho contínuo, seguindo o planejado.

Ademais, o controle da produtividade e do estoque do almoxarifado são fatores que devem ser reavaliados e acompanhados durante todo o serviço, até sua finalização. Diante dessa realidade, é necessário que todos esses itens sejam levantados e considerados em um planejamento prévio eficiente. A ausência de qualquer material ou ferramenta pode provocar retrabalhos, tempo ocioso de espera, entre outros problemas, impactando diretamente o cronograma final da obra.

Portanto, é necessário garantir que cada etapa da alvenaria de vedação seja realizada com todos os recursos necessários, contribuindo significativamente para a fluidez e a qualidade do serviço. Além disso, é importante destacar que uma alta produtividade das equipes de produção está diretamente ligada à disponibilidade dos materiais no momento exato em que o serviço irá iniciar. Na filosofia *Lean* esse conceito é definido como "*Just in Time*". Santos (2018) corrobora que é uma técnica da administração de produção, que diz que nada pode ser comprado, produzido ou transportado antes da hora certa, e acrescenta dizendo que tem uma excelente eficiência e permite um bom gerenciamento financeiro.

Outro ponto importante é a separação dos *kit's* de materiais de serviço por apartamento, facilitando o acesso dos profissionais aos insumos que irão utilizar por unidade e minimizando também o tempo ocioso durante a execução das atividades.

Em resumo, uma gestão eficiente de todos os recursos envolvidos, seja de recursos humanos ou de materiais, reflete diretamente no cumprimento de prazos e na excelência do planejamento da obra como um todo.

Para o PCP do serviço de alvenaria, através da produtividade do serviço fornecida pela empresa, é possível dimensionar a quantidade de equipes para finalizar o serviço no prazo previsto pelo planejamento de alvenaria. Esse tempo para realização de toda atividade está inserido no planejamento de longo prazo da obra (linha de balanço).

A seguir, temos a linha de balanço na Figura 05, ferramenta que foi criada a partir do gráfico de Gantt. A linha foi cedida pela construtora, para determinação do tempo de duração total do serviço, a fim de fazer um comparativo ao final do estudo sobre o planejamento. O tempo da elevação da alvenaria de vedação racionalizada está demarcado nas colunas amarelas.

3.3 Definições do Escopo do Projeto

Para determinação do escopo de projeto, é necessário conhecer todas as demandas para as quais será destinada tal proposta. É importante ressaltar que, em um projeto como o de vedação racionalizada, os projetos de arquitetura, instalações elétricas, telecomunicação, climatização e estrutura devem estar compatibilizados para que o projeto tenha sucesso em sua elaboração.

De acordo com Aquino e Melhado (2005), muitos dos problemas pertinentes ao processo de desenvolvimento e utilização de projetos para produção de vedações verticais decorrem da ausência de definição precisa da abrangência do escopo dos serviços envolvidos na elaboração do projeto para produção.

Dito isso, segundo Covelo Silva (2019), podemos classificar os serviços oferecidos durante a elaboração de um projeto conforme sua necessidade:

- a) Essenciais: presentes em qualquer tipo ou porte de empreendimento;
- b) Específicos: vinculados às características daquele empreendimento, como, por exemplo, número de subsolos, critérios de sustentabilidade, etc.;
- c) Opcionais: aqueles que o contratante entende como convenientes para aquela especialidade, na etapa em questão, e que não estejam enquadrados nos outros dois tipos.

Tomando como referência um projeto de alvenaria de vedação racionalizada, o foco do estudo de caso em questão está nos itens das letras “b)” e “c)”, já que os serviços classificados como essenciais englobam, por exemplo, validações e cálculos de viabilidade e sustentação da alvenaria, garantias de desempenhos por norma, dentre outros itens que são requisitos em todo e qualquer projeto.

O foco do estudo leva em consideração um escopo da construtora que deixe especificado para o projetista as necessidades que serão atendidas pelo projeto de alvenaria de vedação para o planejamento da produção desse serviço.

Considerando as necessidades da construtora e considerando que o projeto será modelado em BIM, foi criada a Tabela 01 com os itens a serem incluídos e considerados para o escopo do projeto de alvenaria de vedação racionalizada do empreendimento em questão.

Quadro 01 – Requisitos a serem incluídos no Escopo do Projeto

LISTA DE REQUISITOS A SEREM INCLUÍDOS NO ESCOPO	
Nº	DESCRIÇÃO
1	Divisão do projeto no Revit por: Setor, Pavimentos, Apartamentos, Vedações Externas(Fachada) e Internas. Sendo testado o projeto no Software Navisworks para visualizar se atendeu as divisões.
2	O item 01 deve ser colocado na seguinte sequência: Setor - Pavimento do Setor - Apartamentos do Pavimento - Vedações Externas e Internas por apartamento.
3	Todos os apartamentos deverão conter quantitativos separados de: vergas, famílias dos blocos cerâmicos, telas metálicas, barras de aço bitola 8mm, graute, metragem do eletroduto flexível corrugado de 25mm, metragem do tubo de PVC de 25mm, argamassa de assentamento.
4	Envio dos seguintes arquivos na entrega final: Planta de marcação da 1ª fiada, Planta de marcação da 2ª fiada, Elevações das Paredes com detalhes construtivos, Modelagem 3D do projeto arquivo .rvt, Modelagem 3D do projeto arquivo .nwc.
5	Envio dos seguintes arquivos na entrega final: 1. Planta de marcação da 1ª fiada em PDF e .rvt 2. Planta de marcação da 2ª fiada em PDF e .rvt 3. Elevações de todas as paredes(elevações) com detalhes construtivos em PDF e .rvt 4. Modelagem 3D do projeto arquivo .rvt 5. Modelagem 3D do projeto arquivo .nwc 6. Plantas em .rvt separados por tipologia de apartamento para uso de personalizações da obra

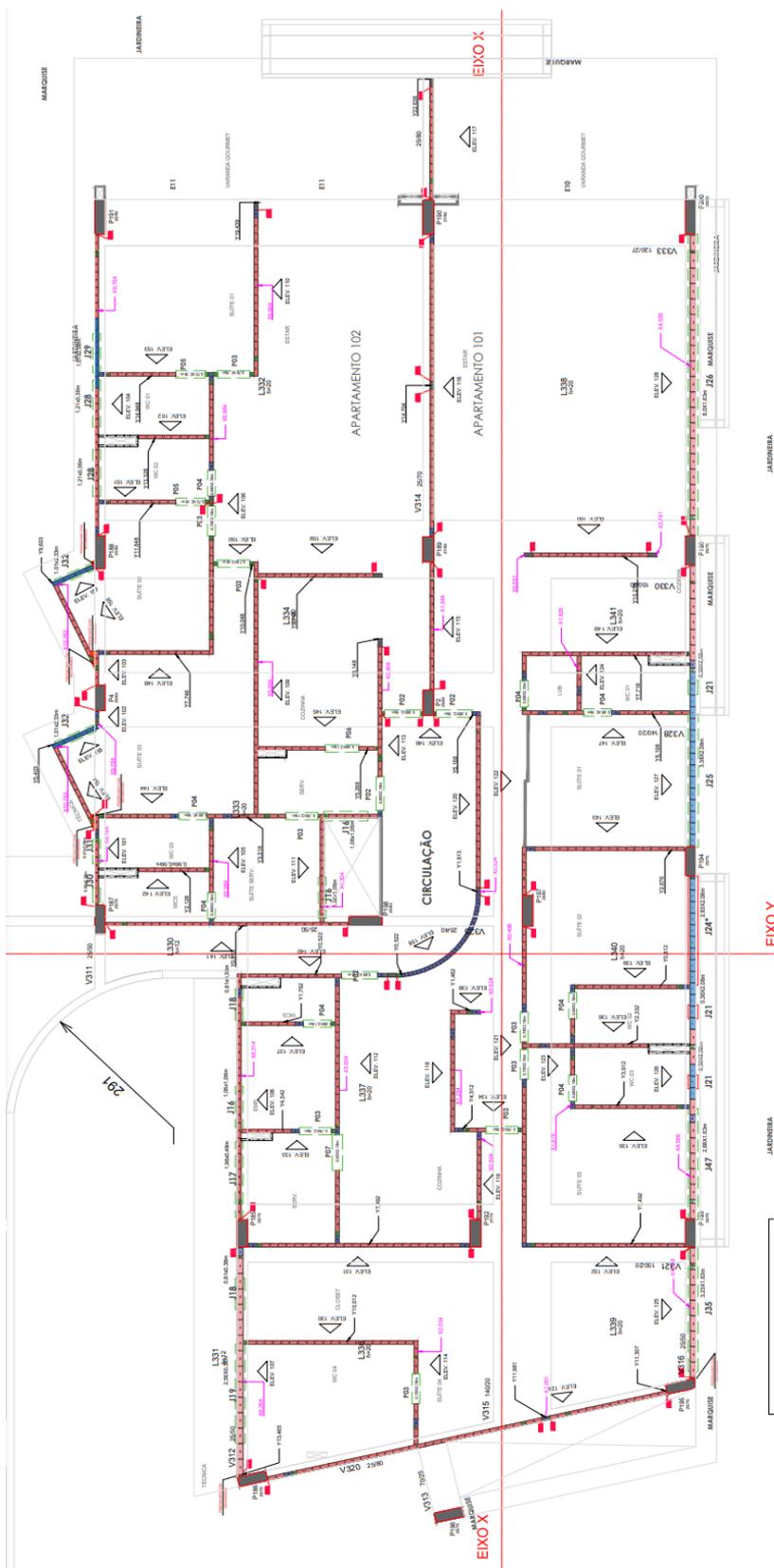
Fonte: Autoral, Excel, 2024.

3.4 Modelagem do Projeto de Alvenaria no Revit

A partir do projeto de alvenaria racionalizada em 2D, feito através do *Software AutoCad*, foi modelado o projeto, seguindo da maneira mais fidedigna possível as plantas e elevações em 2D, com alguns pequenos ajustes de projeto, quando necessários, que serão citados ao longo do texto.

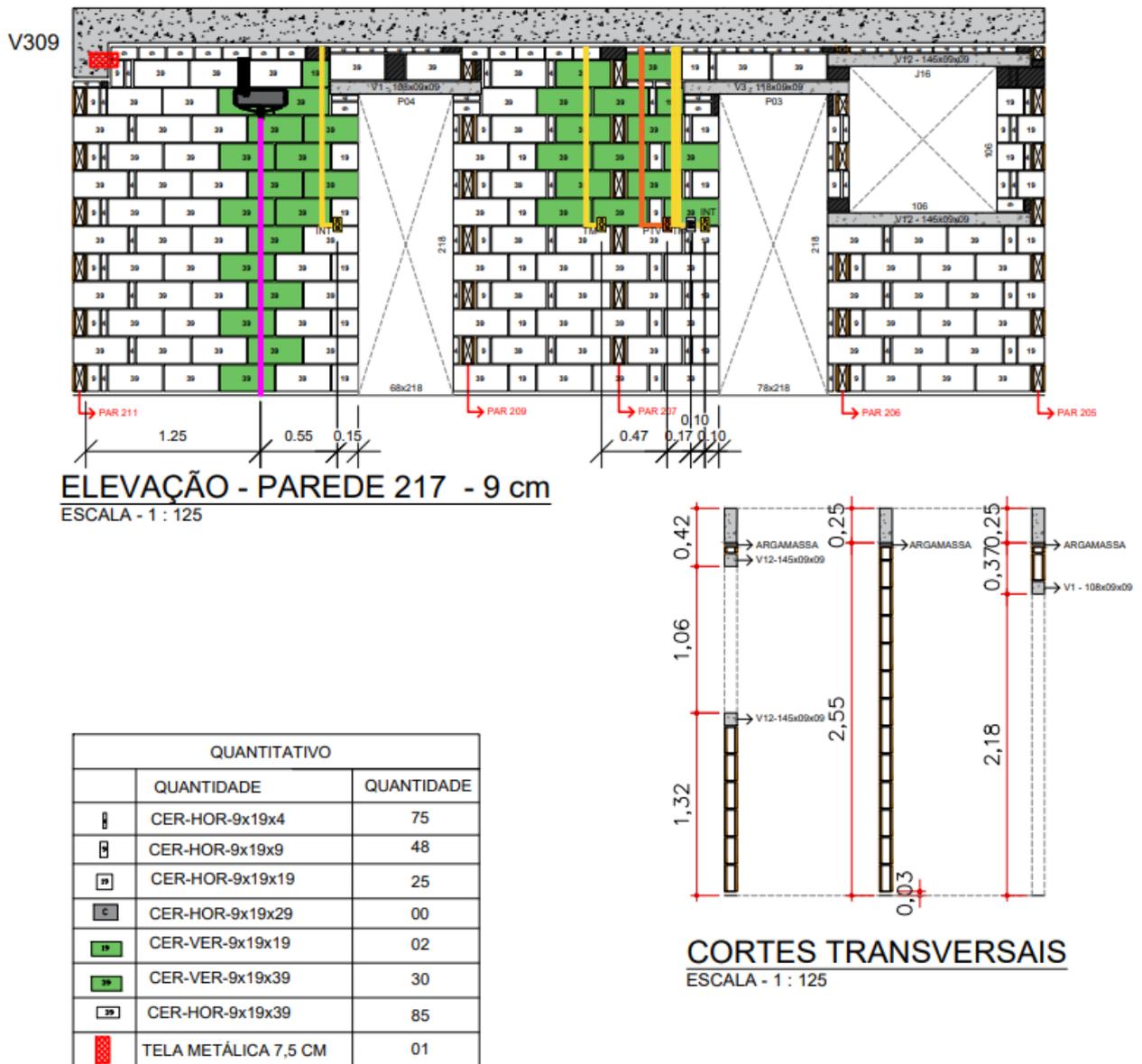
A seguir, nas figuras 06 e 07, estão as plantas de marcação da 1ª Fiada de alvenaria dos apartamentos do Setor A, disponibilizadas pela construtora. Além disso, foi inserida uma imagem retirada do projeto de elevação da parede 217, na Figura 08.

Figura 06 – Planta de marcação dos Apartamentos tipo 01 e 02



Fonte: Planta cedida pela construtora.

Figura 08 – Elevação Parede 217 Apartamento Tipo 03



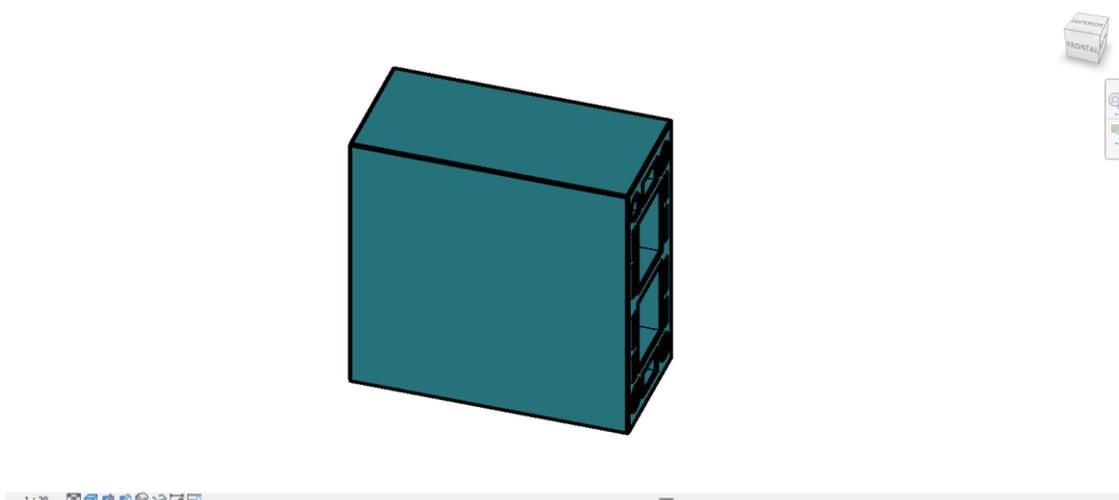
Fonte: Projeto cedido pela construtora.

Primeiramente, foram inseridas as plantas de marcação no *Revit* através do vínculo da planta do *AutoCad*. Com ajustes no ponto de origem, escala e visualização, a modelagem começou com a marcação de toda a primeira fiada dos apartamentos.

Para os blocos, foi baixado um *template* de uma família de blocos cerâmicos de vedação, porém todos da mesma cor. Para uma melhor visualização dos tijolos nas elevações e marcação, foram destinadas cores aos blocos e feitos ajustes

também nos tamanhos dos blocos necessários. A seguir, na Figura 09, um exemplo do bloco cerâmico 09x19x19 racionalizado com sua respectiva cor:

Figura 09 – Bloco Cerâmico de Vedação 09x19x19



Fonte: Autoral, retirado do Revit.

Na fase de modelagem, foram encontradas algumas incompatibilidades de amarração entre as paredes que não eram possíveis de serem visualizadas em um projeto feito em 2D. Após a colocação de todos os tijolos, incluindo os de encunhamento, foram locados os ar-condicionados de acordo com a planta de climatização, para que fossem posicionados os drenos que são executados na fase da elevação pela equipe de produção da alvenaria.

É importante pontuar que o projeto de climatização teve atualizações na fase de obra, mas foi considerada a versão que o projetista de alvenaria tinha acesso na época em que realizou o projeto, para que os levantamentos não possuíssem diferenças relevantes por causa disso.

Após a colocação dos drenos, foi elaborada uma vista em 3D com todos os 03 tipos de apartamento do Setor A, replicados do 1º ao 4º pavimento. É importante pontuar que no projeto do 1º pavimento do Setor A só tem as plantas tipo 01 e tipo 02, com ausência do apartamento do meio, em relação ao 2º ao 4º pavimento.

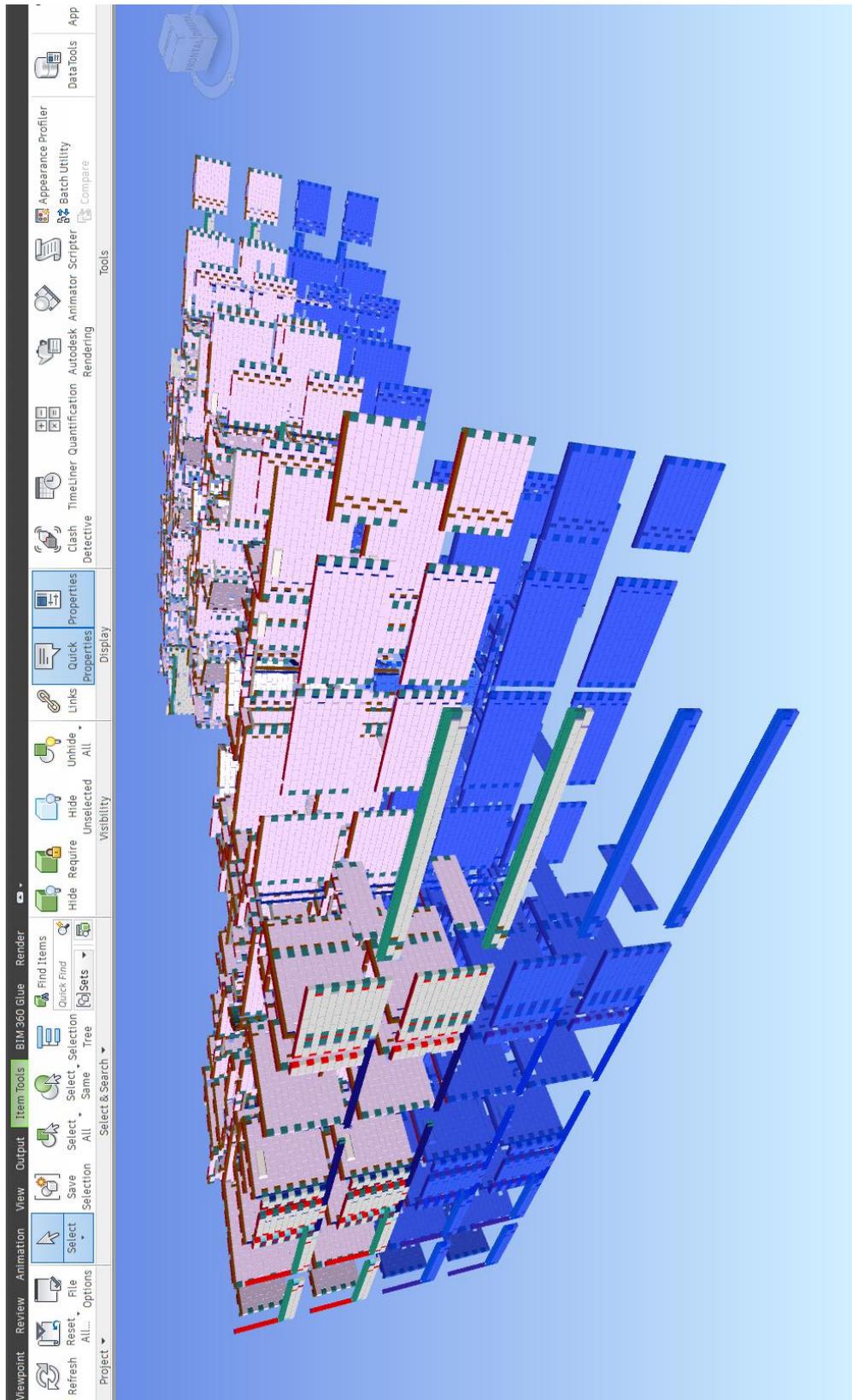
Posterior as alterações supracitadas, foi perceptível que o arquivo ficou extremamente saturado, com uma lentidão considerável de manuseio de projeto. Obviamente, a depender da máquina utilizada, um projeto robusto acaba sendo mais difícil de manusear.

Devido a esse fator, foi decidido encaminhar a modelagem para o *Software Navisworks* sem a racionalização dos blocos, uma vez que a análise dos blocos que terão furos verticais (racionalizados) seria mais eficiente com as passagens de tubulações locadas. Além disso, inserir as instalações elétricas e de telecomunicação no arquivo seria extremamente improdutivo com o arquivo tão robusto.

Dito isso, com o objetivo de analisar as modelagens separadas por pavimento, a modelagem foi encaminhada para o *Navisworks*, além de serem testadas outras extrações de quantitativos por localização, considerando os testes de divisórias, citadas no escopo do projeto. Além disso, foram inseridas as datas da linha de balanço por pavimento, para que fosse possível fazer uma simulação construtiva para o acompanhamento da obra.

Na Figura 10, conseguimos ver a modelagem do 1º ao 4º pavimento, com a seleção do 1º e 2º pavimento para análise da seleção por pavimento.

Figura 10 – Seleção dos Pavimentos 1 e 2 no Navisworks



Fonte: Autoral, retirado do Navisworks.

Após isso, foi selecionado o apartamento tipo 03 para fazer a modelagem completa, incluindo os blocos racionalizados, as instalações elétricas e de telecomunicações, as barras de aço das canaletas, o graute das canaletas e as telas metálicas, com o objetivo de coletar todos os quantitativos do apartamento para formar o *Kit* de serviço que, posteriormente, iria para a obra. Mais precisamente, para a equipe do almoxarifado fazer a separação de materiais para as equipes.

É importante ressaltar que o principal foco da modelagem em estudo é a extração de quantitativos de maneira automática, através da metodologia BIM, e, com isso, a elaboração do PCP de acordo com essas quantidades, baseando-se em uma seleção por localização no *Navisworks*. Logo, não foi elaborado um detalhamento de projeto ideal para ir para campo, como já é feito nos projetos contratados pela construtora, como por exemplo a execução das pranchas de elevações de paredes com todas as cotas.

A importância da execução de um projeto como esse, no *Revit*, é a confiabilidade dos quantitativos gerados fielmente ao que foi modelado. Segundo Carvalho Júnior (2023), quando um quantitativo de materiais de um projeto complementar é feito manualmente, torna-se um serviço com maior complexidade, além de ser mais demorado e sujeito ao erro humano.

Dito isso, os arquivos dos três tipos de apartamentos do Setor A foram separados no formato de projeto do *Revit*, a fim de atender o requisito número 05 dos itens adicionados ao escopo (Tabela 01).

Posteriormente, foi feito o detalhamento de todo apartamento do tipo 03. Houve uma considerável dificuldade em relação à inserção de tubulações de eletrodutos corrugados de 25mm por dentro dos blocos de alvenaria. Assim, os pontos de parede do projeto elétrico e de telecomunicações foram modelados primeiramente na arquitetura para confirmação do quantitativo da própria tubulação de parede.

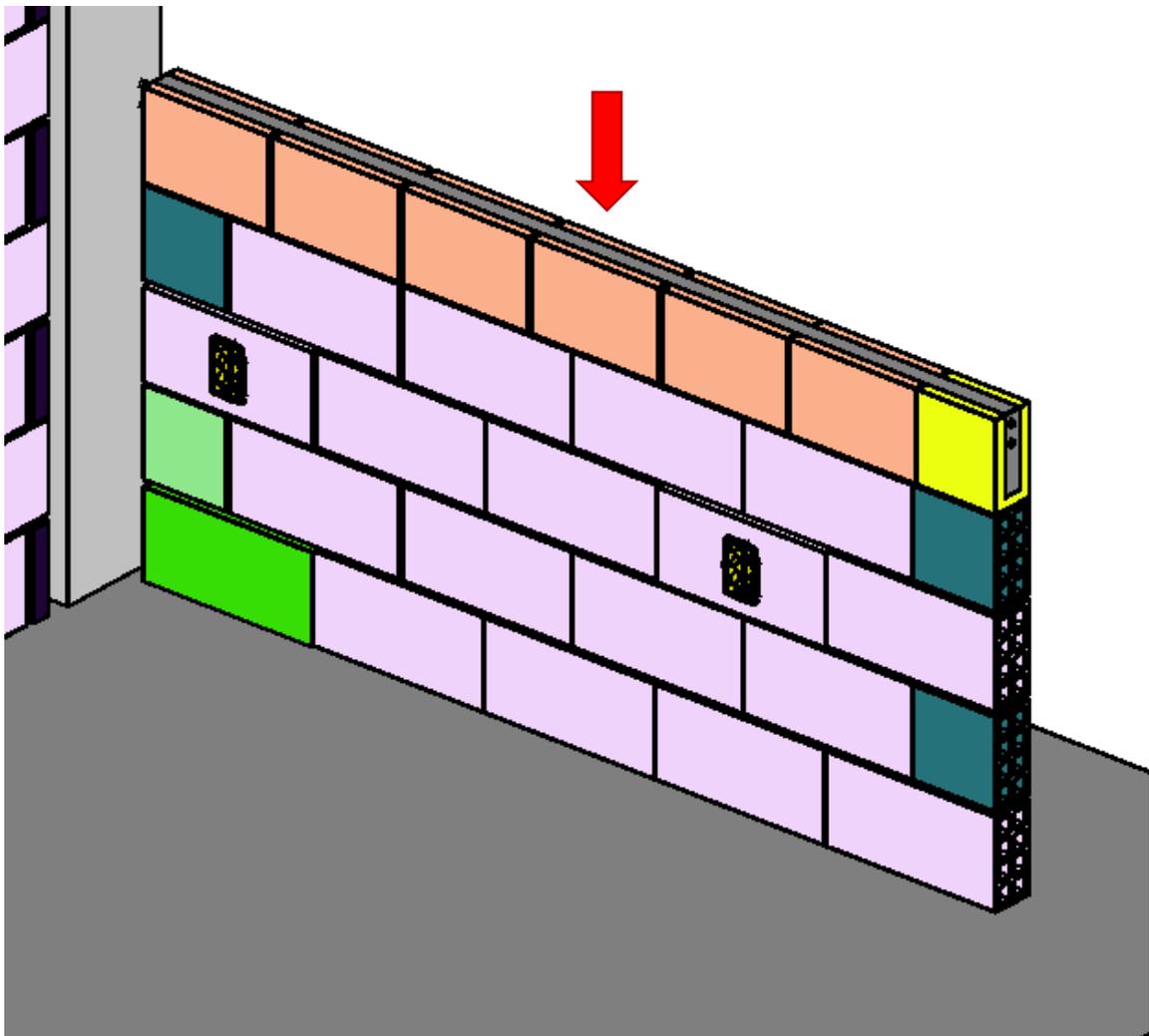
Esse impasse que surgiu na modelagem dos blocos seria resolvido facilmente pela criação de um *template* elétrico em que as tubulações conseguissem ser inseridas dentro dos blocos racionalizados, através da configuração de parâmetros e referências, nesse caso, para o objeto “eletroduto corrugado flexível de 25mm”.

Com isso, foram modelados novos blocos racionalizados, prevendo a “caixinha” para as instalações tamanho 4x2 de PVC. A partir da localização das caixas elétricas,

foi possível alterar os blocos necessários para racionalizados, assim como os que estão nas passagens de drenos.

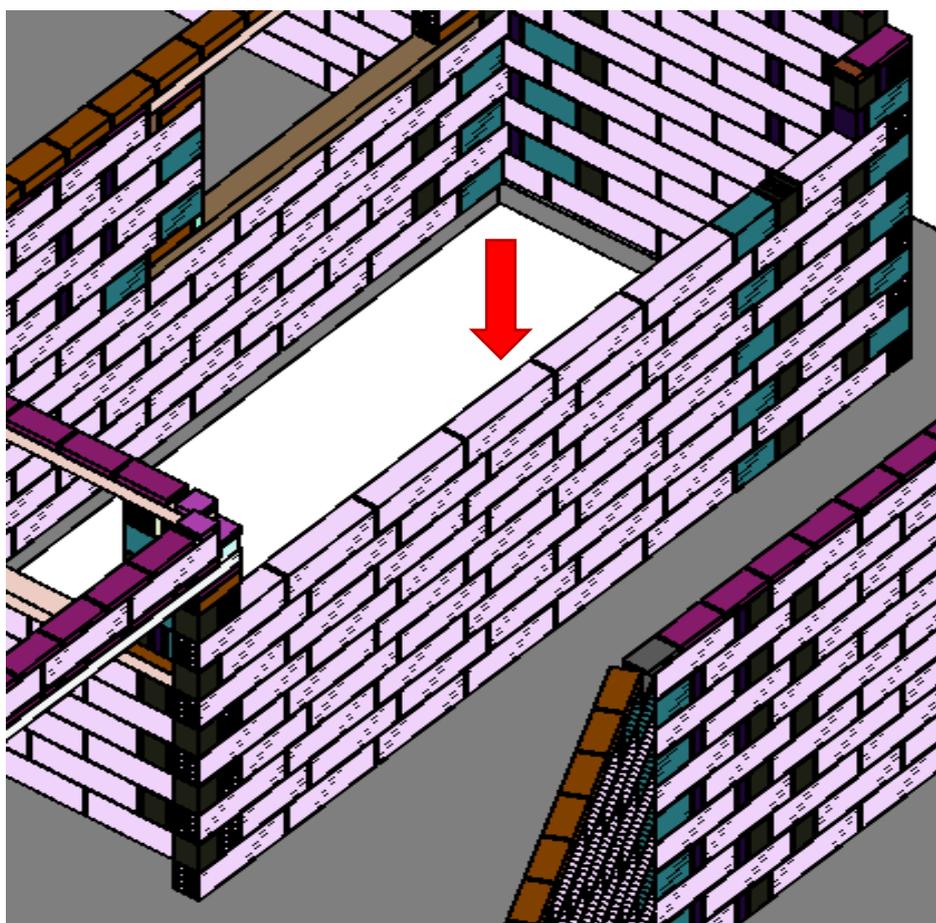
Além disso, foram modeladas duas paredes que não foram solicitadas ao projetista na época de elaboração do projeto, por falta de definição de como seriam executadas ambas as paredes. Devido à fidelidade ao PCP do estudo, as paredes foram consideradas mediante ao fato de que, com elas, adiciona-se metragem quadrada de alvenaria, além de canaletas, graute e outros elementos. Dito isso, nas Figuras 11 e 12, pode-se visualizar as paredes em questão.

Figura 11 – Modelagem parede da varanda



Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

Figura 12 – Modelagem parede do vazio/entrada do apartamento



Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

Ademais, foram confirmadas as quantidades da metragem dos eletrodutos no *Revit*. Logo em seguida, foram inseridas as barras de aço, criadas a partir de um *template* que já faz o cálculo do graute. Assim, foi possível extrair também esse quantitativo de materiais.

Por fim, foi criado outro *template* no próprio *Revit* para inserção das telas metálicas na alvenaria, devido à ausência desse item em famílias de alvenaria pesquisadas durante o processo de modelagem.

Finalizadas todas as inserções de materiais na modelagem do apartamento, foram extraídos do projeto os quantitativos gerados pelo *Revit* e, posteriormente, foi possível determinar o *Kit* de serviço do apartamento do tipo 03.

É importante ressaltar que a extração desses quantitativos de maneira setorizada, considerando o Planejamento e Controle Baseado em Localização (LBPC) tem uma grande relevância para o serviço de alvenaria racionalizada, que possui uma variação considerável de materiais.

Isso deve-se ao fato de que as informações colocadas no *Kit* acabam sendo disseminadas e utilizadas pelos mais variados profissionais dentro do canteiro de obras. Podemos citar como exemplo o gestor da obra para o controle de pedidos e orçamento, o almoxarife que vai separar os materiais, o operador da cremalheira que irá distribuir os tijolos paletizados, a equipe de fabricação das vergas pré-moldadas, a própria equipe de alvenaria que irá realizar o serviço, o armador que irá separar as barras, dentre outros.

Diante disso, a logística envolvida na fabricação, separação e distribuição desses materiais, acaba sendo atingida pelo levantamento feito do projeto, trazendo assim uma grande relevância para o *Kit* de serviço.

Logo após, o projeto foi levado para o *Navisworks* para definir o fluxo de serviço, analisando a logística de distribuição de materiais, além de vincular a modelagem ao planejamento da linha de balanço.

4. DISCUSSÃO E RESULTADOS

4.1 Comparativo do modelo 2D para o modelo 3D

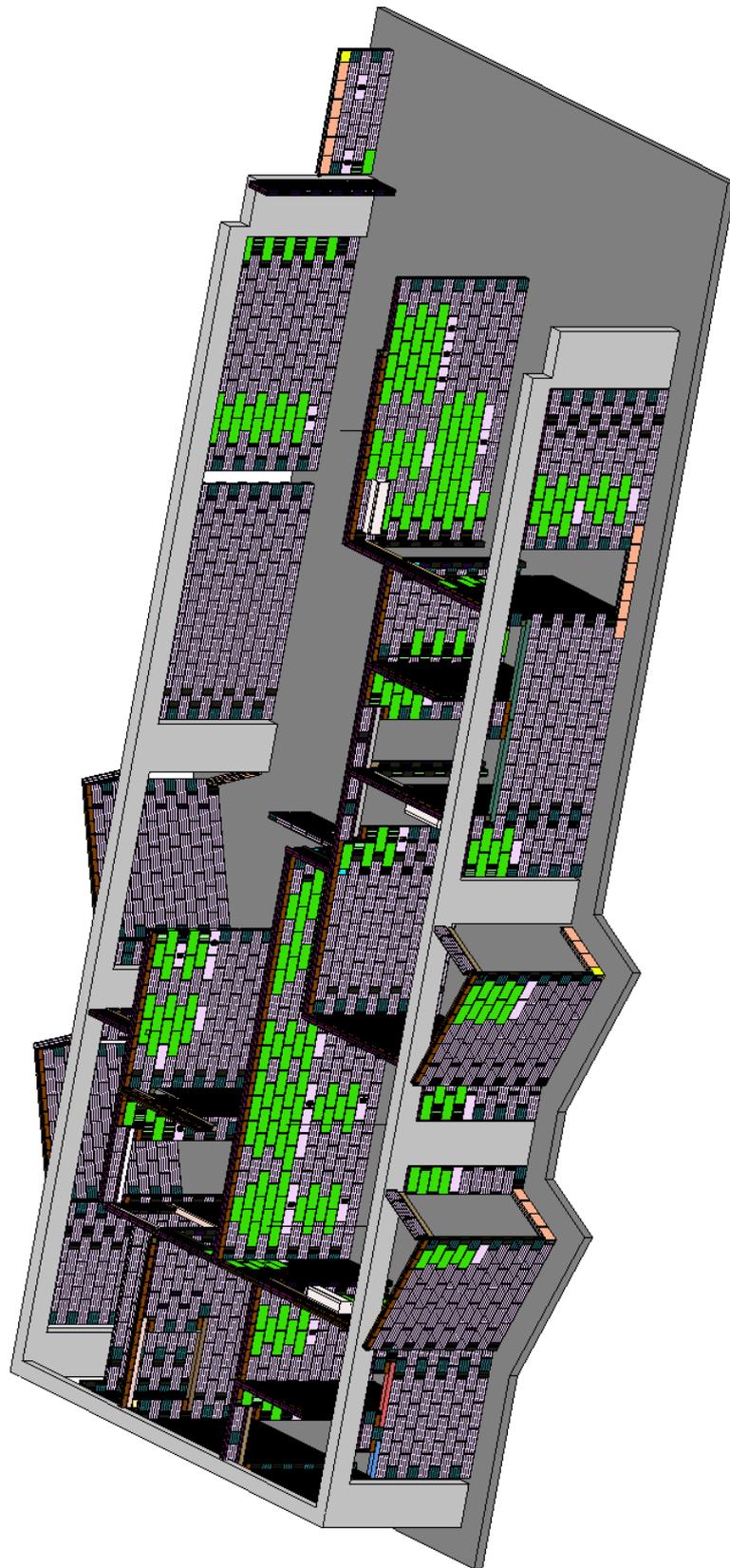
Na Figura 13, é possível visualizar o resultado da modelagem do apartamento tipo 03, sendo importante pontuar que as tubulações elétricas e os drenos de ar-condicionado estão passando por dentro das paredes, como mostra a Figura 14.

Após finalizar a modelagem do apartamento, foram criadas as tabelas de quantitativos no *Revit*, através de uma seleção de quais materiais e parâmetros deveriam aparecer nas tabelas. Um exemplo de uma dessas tabelas que foram geradas encontra-se na Figura 15, que demonstra a quantidade de vergas da unidade tipo 03.

Foram coletados os quantitativos de: vergas e contra-vergas, blocos cerâmicos, incluindo os racionalizados e canaletas, eletroduto flexível de 25mm, tubo de PVC de 25mm, telas metálicas e pinos de aço para fixação de telas, barras de aço de 10mm, volume de graute, volume de argamassa.

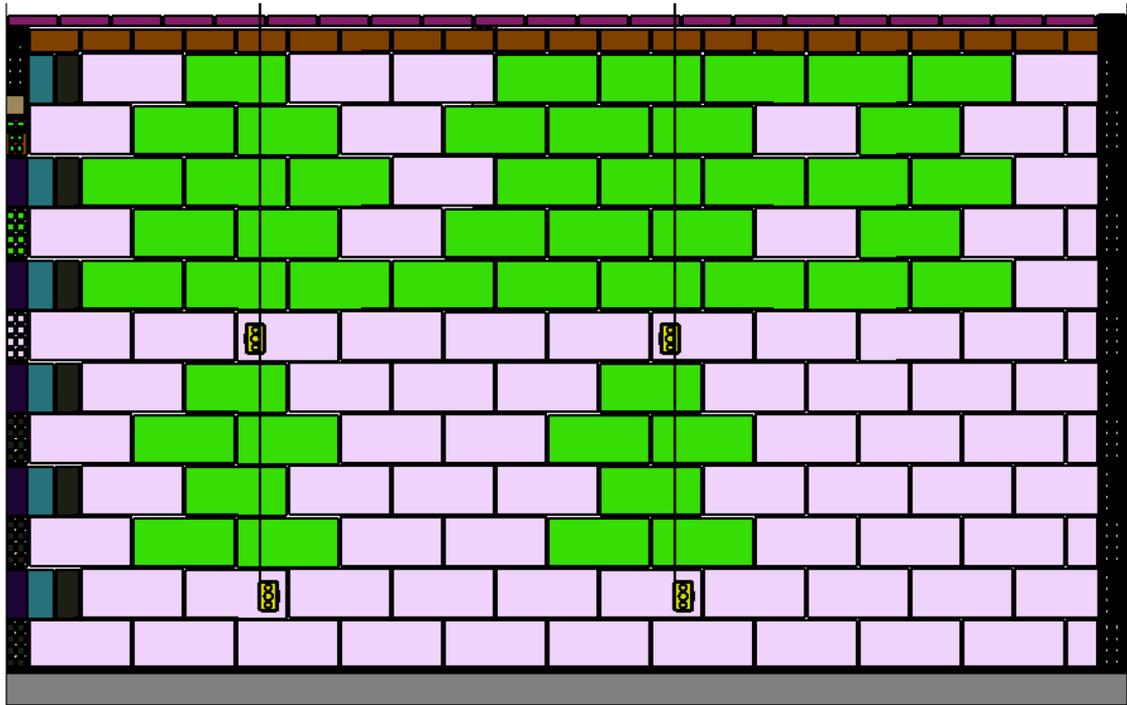
Após a junção de todos os quantitativos, foi criada uma planilha no excel por questões de organização dos valores e futuros comparativos de dados.

Figura 13 – Modelagem executada no *Revit* da alvenaria de vedação do apartamento tipo 03



Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

Figura 14 – Eletroduto Corrugado 25mm passando por dentro da parede



Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

Tabela 01 – Quantitativo de Vergas gerado pelo Revit

<QUANTITATIVO DE VERGAS>		
A	B	C
CÓD.	DIMENSÕES	QUANTIDADE
VER-0,62x0,09x0,09	L9/H9/C62	1
VER-0,68x0,09x0,09	L9/H9/C68	2
VER-0,95x0,09x0,09	L9/H9/C95	1
VER-1,00x0,09x0,09	L9/H9/C100	2
VER-1,02x0,09x0,09	L9/H9/C102	1
VER-1,08x0,09x0,09	L9/H9/C108	4
VER-1,18x0,09x0,09	L9/H9/C118	2
VER-1,28x0,09x0,09	L9/H9/C128	1
VER-1,43x0,09x0,09	L9/H9/C143	1
VER-1,45x0,09x0,09	L9/H9/C145	2
VER-1,49x0,09x0,09	L9/H9/C149	1
VER-1,69x0,09x0,09	L9/H9/C169	2
VER-2,20x0,09x0,09	L9/H9/C220	1
Total geral: 21		21

Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

A seguir, nas Tabelas 02 e 03 estão as quantidades tanto do modelo BIM quanto do projeto em 2D, que teve seu levantamento elaborado pelo projetista com auxílio de

planilhas. Dito isso, é possível notar a semelhança dos quantitativos, sendo mais expressiva a diferença dos tijolos “BLO-CER-HOR-9X19X39”. Um dos motivos que justifica essa diferença é as duas paredes adicionadas e citadas no item “3.4” desse estudo.

Tabela 02 – Quantitativo de blocos extraídos da modelagem BIM

QUANTITATIVO DE BLOCOS BIM - APTO TIPO 03		
CÓD.	DIMENSÕES	QUANTIDADE
BLO-CER-HOR-9x19x4	L9/H4/C19	773 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X9	L9/H9/C19	588 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X19	L9/H19/C19	310 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x19	L9/H19/C19	45 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X39	L9/H19/C39	1800 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x39	L9/H19/C39	307 UNID
CAN-CER-HOR-9x19x29	L9/H19/C29	29 UNID

Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

Tabela 03 – Quantitativo de blocos do levantamento do projeto 2D

QUANTITATIVO DE BLOCOS 2D - APTO TIPO 03		
CÓD.	DIMENSÕES	QUANTIDADE
BLO-CER-HOR-9x19x4	L9/H4/C19	754 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X9	L9/H9/C19	568 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X19	L9/H19/C19	315 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x19	L9/H19/C19	32 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X39	L9/H19/C39	1641 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x39	L9/H19/C39	355 UNID
CAN-CER-HOR-9x19x29	L9/H19/C29	22 UNID

Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

Após isso, foi elaborado o comparativo das vergas e contra-vergas dos vãos do apartamento, nas Tabelas 04 e 05. Assim como os blocos, houve uma grande semelhança nas quantidades de ambos os quantitativos.

Tabela 04 – Quantitativo de vergas extraídos da modelagem BIM

QUANTITATIVO DE VERGAS BIM - APTO TIPO 03		
CÓD.	DIMENSÕES	QUANTIDADE
VER-0,62x0,09x0,09	L9/H9/C62	1
VER-0,68x0,09x0,09	L9/H9/C68	2
VER-0,95x0,09x0,09	L9/H9/C95	1
VER-1,00x0,09x0,09	L9/H9/C100	2
VER-1,02x0,09x0,09	L9/H9/C102	1
VER-1,08x0,09x0,09	L9/H9/C108	4
VER-1,18x0,09x0,09	L9/H9/C118	2
VER-1,28x0,09x0,09	L9/H9/C128	1
VER-1,43x0,09x0,09	L9/H9/C143	1
VER-1,45x0,09x0,09	L9/H9/C145	2
VER-1,49x0,09x0,09	L9/H9/C149	1
VER-1,69x0,09x0,09	L9/H9/C169	2
VER-2,20x0,09x0,09	L9/H9/C220	1

Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

Tabela 05 – Quantitativo de vergas do levantamento do projeto 2D

QUANTITATIVO DE VERGAS 2D - APTO TIPO 03		
CÓD.	DIMENSÕES	QUANTIDADE
V17	L9/H9/C62	1
V18	L9/H9/C68	2
V11	L9/H9/C102	3
V1	L9/H9/C108	2
V1A	L9/H9/C108	2
V14	L9/H9/C110	1
V3	L9/H9/C118	2
V12	L9/H9/C118	2
V4	L9/H9/C128	1
V16	L9/H9/C143	1
V6	L9/H9/C149	1
V10	L9/H9/C169	2
V15	L9/H9/C220	1

Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

4.2 Extração de quantitativos através de ferramentas BIM

Foram extraídos os quantitativos no *Revit* de todos os itens modelados do apartamento tipo 03; a partir dessas informações, foi determinado o *Kit* de serviço do apartamento, como demonstra a Tabela 06.

Tabela 06 – Kit de serviço do apartamento tipo 03 a partir da modelagem BIM

KIT DE SERVIÇO EXTRAÍDO DA MODELAGEM - APTO TIPO 03	
DESCRIÇÃO DO ITEM	QUANTIDADE
TELA METÁLICA 7,5cm	164 UNID
PINOS DE AÇO	164 UNID
ELETRODUTO CORRUGADO 25mm	107 M
BARRA DE AÇO 10mm (3/8)	13 M
GRAUTE P/ CANALETAS	0,06 M³
QUANTIDADE ARGAMASSA	16,09 M³
TUBO DE PVC 25MM MARROM	11,3 M
BLO-CER-HOR-9x19x4	773 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X9	588 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X19	310 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x19	45 UNID
BLO-CER-HOR-9X19X39	1800 UNID
BLO-CER-RAC-9x19x39	307 UNID
CAN-CER-HOR-9x19x29	29 UNID
VER-0,62x0,09x0,09	1 UNID
VER-0,68x0,09x0,09	2 UNID
VER-0,95x0,09x0,09	1 UNID
VER-1,00x0,09x0,09	2 UNID
VER-1,02x0,09x0,09	1 UNID
VER-1,08x0,09x0,09	4 UNID
VER-1,18x0,09x0,09	2 UNID
VER-1,28x0,09x0,09	1 UNID
VER-1,43x0,09x0,09	1 UNID
VER-1,45x0,09x0,09	2 UNID
VER-1,49x0,09x0,09	1 UNID
VER-1,69x0,09x0,09	2 UNID
VER-2,20x0,09x0,09	1 UNID

Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

Além disso, para fins quantitativos somente, é importante pontuar que, caso o projeto elétrico também tivesse sido modelado em um *Software* BIM, o quantitativo de eletrodutos corrugados por apartamento seria mais simples de obter a depender dos requisitos de modelagem que fossem exigidos do projetista elétrico e de telecomunicações. Esse fato reitera que para o projeto de alvenaria de vedação racionalizada, por depender de outras disciplinas para obter sucesso, seria interessante que todas essas estivessem modeladas em BIM para otimizar o trabalho do projetista e garantir o sucesso de compatibilização e gestão do projeto.

4.3 Aplicação do Lean Construction no PCP

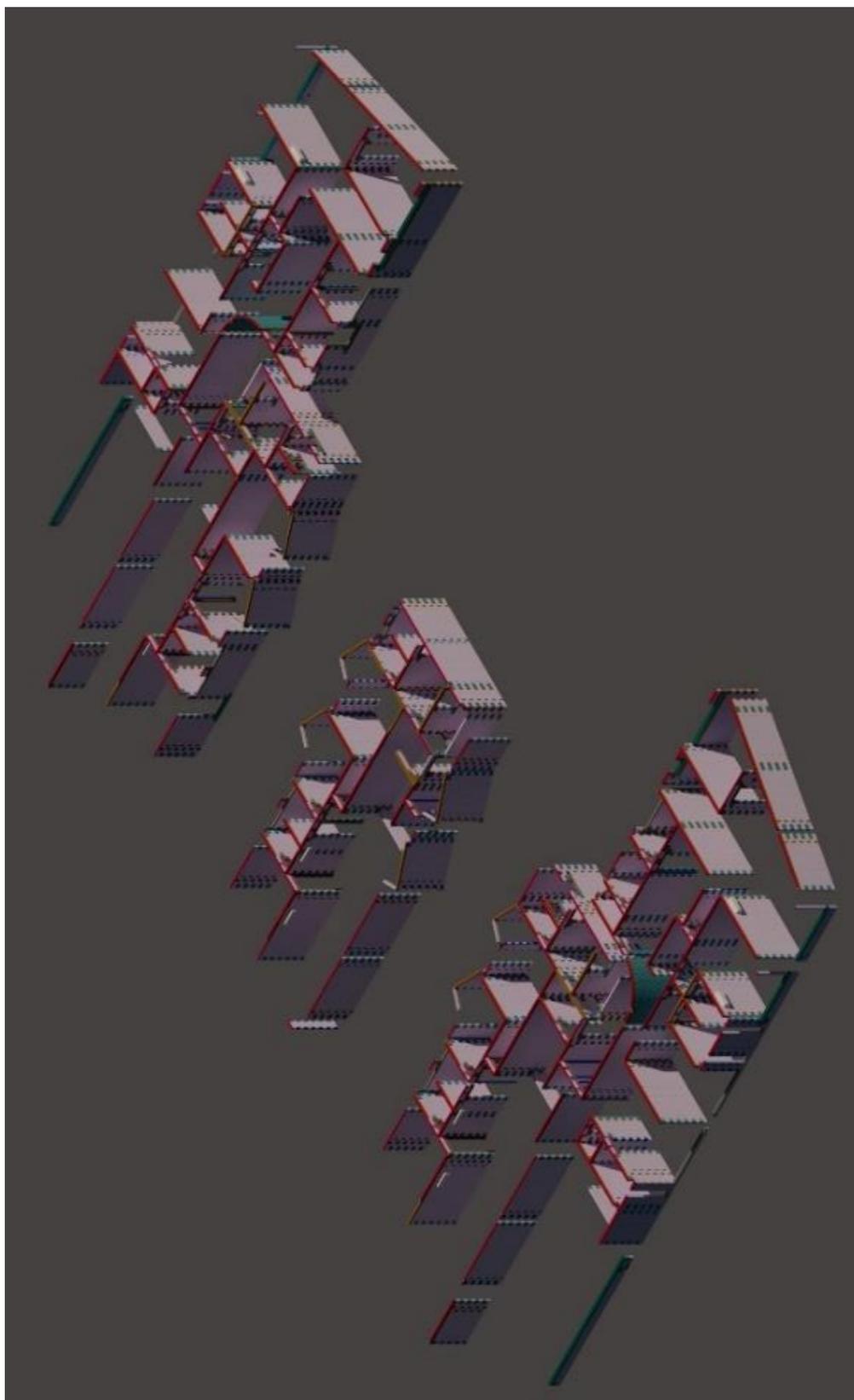
As ferramentas *Lean* utilizadas diretamente no PCP foram: o *Kit* de serviço, já mencionado anteriormente, e o fluxo de serviço da alvenaria de vedação.

Para definição do fluxo de serviço, foram utilizadas as plantas do 1º e 2º pavimento do Setor A, lembrando que existe uma repetição nas áreas internas dos apartamentos do 2º ao 4º. A Figura 16 demonstra a elevação de alvenaria do 2º pavimento.

Foi definido que o fluxo começaria do apartamento 201 até o 205, dividindo as equipes através do dimensionamento que será visualizado nos resultados. Para o fluxo, foi considerado que será necessário um dia de movimentação e preparação, e os outros dias para execução do serviço. É importante ressaltar que, a fim de seguir o conceito de terminalidade de serviços que traz a filosofia *Lean*, é necessário que o operador finalize todas as suas pendências antes de se retirar do apartamento.

Para que o fluxo obtenha sucesso, é importante que o trabalho seja monitorado e fiscalizado de perto, principalmente quando estiver próximo da saída da equipe da unidade em que se encontram.

Figura 15 – Modelagem executada no Revit da alvenaria de vedação do 2º pavimento



Fonte: Autoral, Retirado do Revit, 2024.

4.4 Visualização do Planejamento em 4D

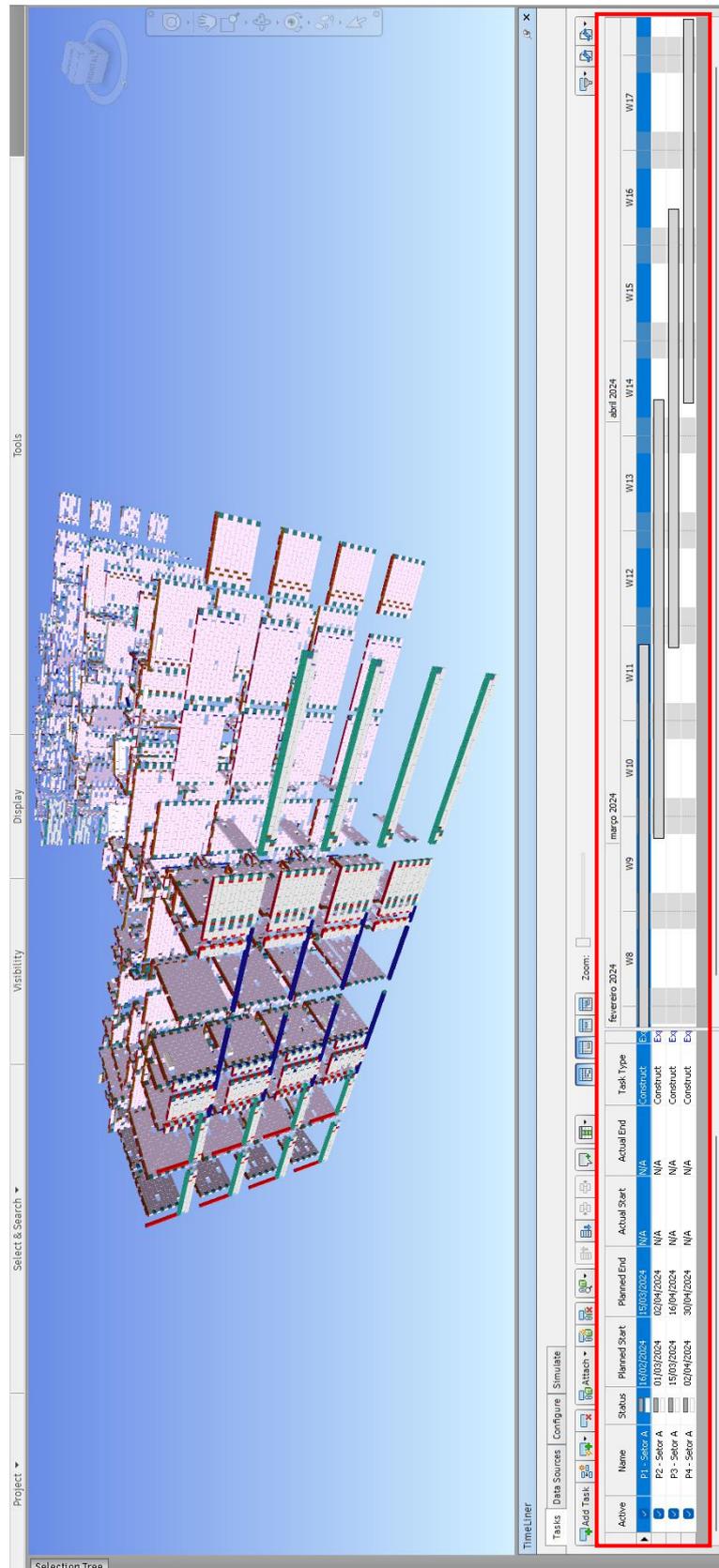
Com a modelagem da alvenaria, o *Navisworks* conseguiu elaborar uma simulação da construção através de uma sequência, do 1º ao 4º pavimento, considerando a metragem quadrada e as datas inseridas, advindas da linha de balanço do empreendimento, que consta na Figura 05.

Além disso, ressalta-se que, para alcançar o BIM 5D, precisaria inserir no *Navisworks* os custos do serviço que podem ser incluídos nos objetos parametrizados do projeto ainda na fase de modelagem no *Revit*, como por exemplo o custo referente ao metro do eletroduto corrugado de 25mm utilizado para as passagens elétricas. Sendo assim, geraria um orçamento baseado nos elementos do projeto de maneira rápida e bastante confiável.

A seguir, na Figura 17, temos o trecho da linha de balanço que contempla o planejamento da alvenaria de vedação no Software *Navisworks* e, na Figura 18, temos uma captura da simulação do serviço de alvenaria de vedação no Setor A com os seguintes dados:

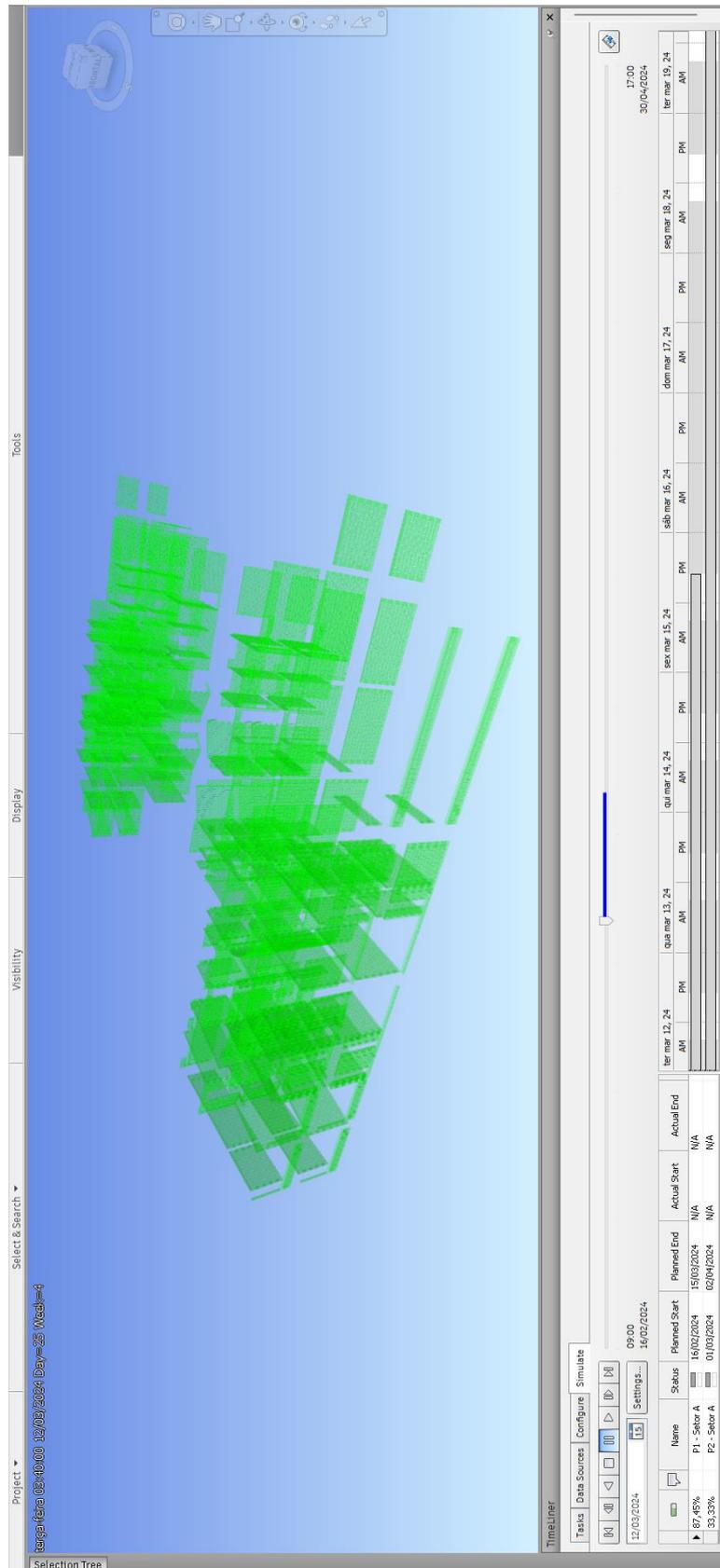
- Data da captura na simulação: 12/03/2024
- Porcentagem do serviço concluído no 1º Pavimento: 87,45%
- Porcentagem do serviço concluído no 2º Pavimento: 33,33%
- Quantidade de dias desde o início do serviço: 25 dias

Figura 16 – Trecho da Linha de Balanço inserida no Navisworks



Fonte: Autoral, Retirado do Navisworks, 2024.

Figura 17 – Simulação do serviço de Alvenaria de Vedação na data 12/03/2024



Fonte: Autoral, Retirado do Navisworks, 2024.

4.5 Resultado do Planejamento da Produção da Alvenaria de Vedação

Por fim, para a formação do planejamento da produção da alvenaria de vedação racionalizada, foram colocados em apêndices todos os itens que contemplam o PCP, são eles:

- APÊNDICE A: Kit de serviço do apartamento tipo 03
- APÊNDICE B: Dimensionamento de equipes
- APÊNDICE C: Fluxo do serviço do 2º ao 4º pavimento da equipe 01
- APÊNDICE D: Fluxo do serviço do 2º ao 4º pavimento da equipe 02

O dimensionamento de equipes foi elaborado conforme os dados fornecidos pela construtora em relação à produtividade da elevação de alvenaria, que foi de 15m²/homem/dia. Além disso, foram considerados os prazos já exibidos anteriormente através da linha de balanço do empreendimento, juntamente com o quantitativo da alvenaria em m² por apartamento.

Para dimensionar uma equipe, é necessário verificar alguns pontos: as datas de início e fim dos pavimentos e, com isso, a definição da quantidade de equipes que terão que trabalhar ao mesmo tempo com uma determinada produtividade.

Dito isso, o resultado do dimensionamento foi de duas equipes de alvenaria, cada uma composta por 2 pedreiros e 1 ajudante. O cálculo foi demonstrado no Apêndice B já citado anteriormente.

Já o fluxo de serviço se trata da sequência construtiva dos profissionais de forma detalhada e foi definida através da produtividade por m², a metragem quadrada total por apartamento e uma sequência lógica para facilitar o serviço do operador.

Logo, diante dos anexos, pode-se concluir que o PCP foi finalizado e obteve sucesso com todas as informações necessárias para iniciar o serviço de maneira organizada com controle e base de dados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi apresentado, pode-se dizer que o resultado do estudo foi satisfatório. Os objetivos de modelar o projeto em 3D através de ferramentas BIM, comparar os quantitativos dos projetos e realizar o planejamento da produção foram alcançados.

De maneira pontual, foi visualizado que as ferramentas *Lean*, alinhadas às práticas utilizadas no planejamento da produção, podem potencializar a eficiência do PCP, pois, com a junção dessas duas vertentes, cria-se ferramentas que podem ser muito produtivas nos canteiros de obras, a exemplo dos *Kits* de serviço e do Fluxo de serviço.

Ademais, é possível afirmar que a elaboração de projetos, como o que foi apresentado em estudo, atende de maneira personalizada às necessidades dos clientes e empresas, e acabam se tornando um diferencial para gestores e donos de incorporadoras e construtoras. A modelagem em um programa como o *Revit*, possibilitou encontrar incompatibilidades entre as amarrações de algumas paredes; mesmo esse não sendo o foco do estudo, isso demonstra mais uma vez a importância da implementação da metodologia BIM nas obras, iniciando da fase de projeto e seguindo até o pós-obra.

É importante ressaltar que, para futuros trabalhos, a modelagem poderia ser além do BIM 4D, através da adição de custos por exemplo. Como já foi citado, poderíamos chegar ao BIM 5D com um orçamento realizado através de *Softwares* BIM.

Além disso, grande maioria dos projetos na construção civil depende interdisciplinarmente de outros para sua elaboração. Logo, se todas as disciplinas envolvidas no projeto de alvenaria de vedação racionalizada, como o de climatização e instalações elétricas, estivessem modeladas com ferramentas BIM, aumentaria ainda mais a precisão e assertividade do projeto.

Outrossim, a alvenaria de vedação racionalizada é um serviço complexo, com muitos materiais envolvidos e de grande importância para o avanço das obras. Dito isso, segundo Mattos (2019), planejar pode ser entendido como garantir a perpetuidade da empresa pela capacidade que seus líderes têm de visualizar soluções rápidas e certas por meio do monitoramento, de dados disponíveis, da evolução do empreendimento, e do possível redirecionamento estratégico.

Logo, o planejamento da produção de uma obra ou serviço através da metodologia BIM, alinhada com ferramentas da filosofia *Lean Construction*, pode trazer diversos benefícios. Entre eles, podemos ressaltar a rápida tomada de decisão baseada em quantidades e valores de projetos, o controle do almoxarifado na saída de materiais por meio de quantidade previamente definidas por apartamento, e, por fim, a definição de equipes e seus fluxos de serviços, aumentando a produtividade e facilitando o rastreamento de operários em suas atividades.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Janaína P. R. **Análise do desenvolvimento e da utilização de projetos para produção de vedações verticais na construção de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 19650-1:2019. Organização e digitalização de informações sobre edificações e engenharia civil, incluindo Building Information Modeling (BIM) — Gestão da informação usando o Building Information Modeling — Parte 1: Conceitos e princípios**. Rio de Janeiro, 2019.

BALLARD, G., TOMMELEIN, I. **2020 current process benchmark for the Last Planner(R) system of project planning and control**. 2021. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/5t90q8q9>. Acesso em: 10 de setembro de 2024.

BARROS, M.M.S.B. **O processo de produção das alvenarias racionalizadas**. In: SEMINARIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações verticais. São Paulo, 1998 p.21-48.

BORGES JUNIOR, Cyro Alves, et al. **Aumento da produtividade na construção Lean predial analisada pelo mapeamento de cadeia de valor na montagem das estruturas metálicas**. In: Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, [S. l.], v. 4, n. 2, 2008. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/133>. Acesso em: 25 de agosto de 2024.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Interfaces Prediais: hidráulica, gás, segurança contra incêndio, elétrica, telefonia, sanitários acessíveis, NBR 15575 e BIM - nova forma de projetar**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2023.

COELHO, Sérgio Salles; NOVAES, Celso C. **Modelagem de Informações para Construção (BIM) e ambientes colaborativos para gestão de projetos na construção civil**. VIII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. São Paulo, 2008.

CORRÊA, C. V.; ANDERY, P. R. P. **Dificuldades para a implementação de projetos para a produção de alvenaria: um estudo de caso**. Gestão & Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 104-125, nov. 2006.

DESCHAMPS, R. R. et al. **The impact of variability in workflow**. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. Proceedings [...] Australia, 2015.

DUEÑAS, P.M. **Método para elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

EASTMAN, Charles M., TEICHOLZ, Paul, SACKS, Rafael, LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 1st ed. Wiley Inc., Hoboken, New Jersey, 2008, p. 485.

EASTMAN, Charles M.; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2011.

EASTMAN, Charles M.; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. 500 p. Tradução de AYRES FILHO, C. et al.

FILHO, J.I.P; ROCHA, R.A; SILVA, L.M. **Planejamento e controle da produção na Construção Civil para gerenciamento de custos**. Enegep 2004, Florianópolis, Vol. 26, pp 643 -650. (nov. 2004).

FORMOSO, C. T. et al. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000.

FORMOSO, Carlos Torres et al. **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre, SEBRAE/RS, 2000.

FRANCO, L.S. **O projeto das vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção**. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1o.: 1998: São Paulo) anais; ed. por F.H. Sabbatini, M.M.S.B. de Barros, J.S. Medeiros. São Paulo, EPUSP/PCC, 1998.

IBEC - Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos. **Conheça quais são os principais problemas em obras e como evitá-los**. Rio de Janeiro. 202. Disponível em: <https://ibecensino.org.br/problemas-em-obras/> Acesso em: 11 de agosto de 2024.

JOHN, V M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

JUNQUEIRA, L. E. L. **Aplicação da Lean Construction para redução dos custos de produção da Casa 1.0®**. 2006. 146p. Dissertação (Especialização), Departamento de Engenharia de Produção – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford: CIFE, Stanford University, 1992.

KOSKELA, Lauri. **An Exploration towards a Production Theory and Its Application to Construction**. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

LORDSLEEM JR., A. C. **Manual de alvenaria de vedação com blocos de concreto: execução e controle**. Comunidade da Construção Salvador/BA da ABCP: Salvador, 2011.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto Casado; MELHADO, Silvio Burrattino. **Análise de escopo do projeto para produção da alvenaria de vedação**. Revista Gestão e Tecnologia de Projetos, v. 1º, maio de 2011.

LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco A.; QUELHAS, Osvaldo; OLIVEIRA, Rodrigo. **Planejamento e controle da produção**. 4. tiragem. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2008.

MANESCHI, K.; MELHADO, S. B. **Escopo de projeto para produção de vedações verticais e revestimentos de fachada**. In: VIII WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., 2008, São Paulo. Anais. São Paulo: PCC/EPUSP, 2008. CD-ROM.

MANZIONE, Leonardo; MELHADO, Sílvio; NÓBREGA JÚNIOR, Claudino Lins. **BIM e inovação em gestão de projetos**. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MENDES Jr., R. **Programação da Produção da Construção de Edifícios de Múltiplos Pavimentos usando Linha de Balanço**. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. Projeto de Qualificação de Doutorado.

MENDES Jr., R; VARGAS, C. L. S. **Programação de Obras com a técnica da Linha de Balanço**. Curitiba, 1999. Apostila do curso de Programação de Obras. Cursos de Especialização de Engenharia Civil – Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

PPAFFENZELLER, M.C. **LEAN THINKING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DA FILOSOFIA LEAN EM DIFERENTES FLUXOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial, v. 7, n. 14, p. 86-107, 2015.

PRADO, R. L. **Aplicação e acompanhamento da programação de obras em edifícios de múltiplos pavimentos utilizando a técnica de linha de balanço**. 2002, 167p., Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

SAFFARO, F. A. **O uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. Florianópolis, 2007. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SANTOS, F. M. **Análise e controle da produção na construção civil, através do planejamento e controle da produção juntamente com a teoria Lean Construction**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, 2010.

SANTOS, Virgilio F. M. Dos. **Conheça os 13 pilares do Sistema Toyota de Produção**. 9 de outubro de 2018. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/sistema-toyota-de-producao>. Acesso em: 01 de outubro de 2024.

SARCINELLI, Wanessa T. **Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos**. 2008. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.

SIENGE. **Do 3D ao 7D – Entenda todas as dimensões do BIM**. 2020. Disponível em: <https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-bim/>. Acesso em: 11 de setembro de 2024.

SILVA, Maria Angélica Covelo. **Guia de utilização dos escopos de projeto de edificações habitacionais para atendimento à ABNT NBR 15575:2013**. 1. ed. São Paulo: SECOVI-SP; SindusCon-SP, jan. 2019.

SLACK, N. et.al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo. Atlas, 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas lean thinking: elimine o desperdício e crie riqueza**. Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscilla Martins Celeste. Elsevier, 2004. Título original: Lean thinking.

APÊNDICE A – Kit de serviço do apartamento tipo 03

KIT DE SERVIÇO - APTO TIPO 03 - CONTROLE		
DESCRIÇÃO DO ITEM	QUANTIDADE	QUANTIDADE LIBERADA
TELA METÁLICA 7,5cm	164 UNID	
PINOS DE AÇO	164 UNID	
ELETRODUTO CORRUGADO 25mm	107 M	
BARRA DE AÇO 10mm (3/8)	13 M	
GRAUTE P/ CANALETAS	0,06 M³	
QUANTIDADE ARGAMASSA	16,09 M³	
TUBO DE PVC 25MM MARROM	11,3 M	
BLO-CER-HOR-9x19x4	773 UNID	
BLO-CER-HOR-9X19X9	588 UNID	
BLO-CER-HOR-9X19X19	310 UNID	
BLO-CER-RAC-9x19x19	45 UNID	
BLO-CER-HOR-9X19X39	1800 UNID	
BLO-CER-RAC-9x19x39	307 UNID	
CAN-CER-HOR-9x19x29	29 UNID	
VER-0,62x0,09x0,09	1 UNID	
VER-0,68x0,09x0,09	2 UNID	
VER-0,95x0,09x0,09	1 UNID	
VER-1,00x0,09x0,09	2 UNID	
VER-1,02x0,09x0,09	1 UNID	
VER-1,08x0,09x0,09	4 UNID	
VER-1,18x0,09x0,09	2 UNID	
VER-1,28x0,09x0,09	1 UNID	
VER-1,43x0,09x0,09	1 UNID	
VER-1,45x0,09x0,09	2 UNID	
VER-1,49x0,09x0,09	1 UNID	
VER-1,69x0,09x0,09	2 UNID	
VER-2,20x0,09x0,09	1 UNID	

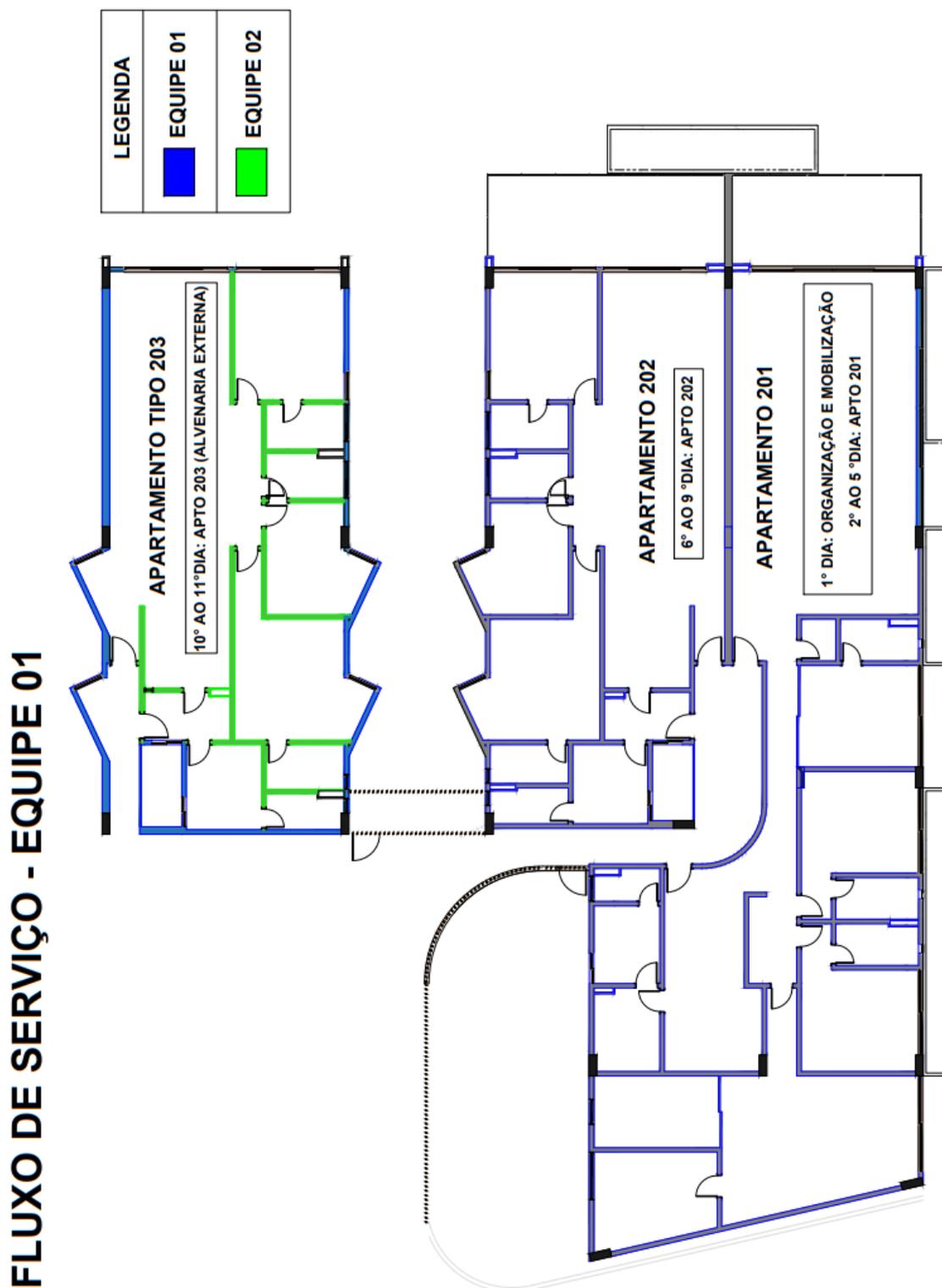
Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

APÊNDICE B – Dimensionamento de equipes

DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES - SETOR A				
METRAGEM DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO SETOR A				
	PAV. 01	PAV. 02	PAV. 03	PAV. 04
APT TIPO 01	266,45 m ²	266,45 m ²	266,45 m ²	266,45 m ²
APT TIPO 02	203,79 m ²	203,79 m ²	203,79 m ²	203,79 m ²
APT TIPO 03	203,79 m ²	199,55 m ²	199,55 m ²	199,55 m ²
APT TIPO 04	266,45 m ²	203,79 m ²	203,79 m ²	203,79 m ²
APT TIPO 05		266,45 m ²	266,45 m ²	266,45 m ²
TOTAL	940,48 m²	1140,03 m²	1140,03 m²	1140,03 m²
PRODUTIVIDADE DAS EQUIPES DE ALVENARIA				
PRODUTIVIDADE DA EQUIPE FORMADA POR 1 PEDREIRO + 1 AJUDANTE =				15/M²/EQUIPE/DIA
PRODUTIVIDADE DA EQUIPE FORMADA POR 2 PEDREIRO + 1 AJUDANTE =				30/M²/EQUIPE/DIA
PLANEJAMENTO DE TEMPO DE SERVIÇO SEGUNDO LINHA DE BALANÇO				
TEMPO DE EXECUÇÃO EM MÉDIA POR PAVIMENTO				21 DIAS
TEMPO DE EXECUÇÃO DA ALVENARIA DO SETOR A				51 DIAS
DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES POR PAVIMENTO				
	PAV. 01	PAV. 02	PAV. 03	PAV. 04
TOTAL ÁREA (M²)	940,48 m ²	1140,03 m ²	1140,03 m ²	1140,03 m ²
PRODUTIVIDADE 2P + 1A	30/M ² /EQUIPE/DIA	30/M ² /EQUIPE/DIA	30/M ² /EQUIPE/DIA	30/M ² /EQUIPE/DIA
QUANTIDADE DE DIAS PARA FINALIZAR O PAVIMENTO	21	21	21	21
PRODUTIVIDADE NECESSÁRIA (M²/DIA)	44,8	54,3	54,3	54,3
QUANTIDADE DE EQUIPES (2P +1) NECESSÁRIAS PARA PRODUÇÃO	2,0	2,0	2,0	2,0
DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES FINAL				
SETOR A	PERÍODO DE 21 DIAS	PERÍODO DE 21 DIAS	PERÍODO DE 21 DIAS	LOCALIZAÇÃO
			4 PAVIMENTO 4P + 2A TEMPO: 21 DIAS	4º PAVIMENTO
		3 PAVIMENTO 4P + 2A TEMPO: 21 DIAS		3º PAVIMENTO
	2 PAVIMENTO 4P + 2A TEMPO: 21 DIAS			2º PAVIMENTO
	1 PAVIMENTO 4P + 2A TEMPO: 21 DIAS			1º PAVIMENTO
TOTAL DE DIAS DE SERVIÇO: 51 DIAS				
DIMENSIONAMENTO DE EQUIPES - IDENTIFICAÇÃO				
SETOR A	PERÍODO DE 21 DIAS	PERÍODO DE 21 DIAS	PERÍODO DE 21 DIAS	LOCALIZAÇÃO
			EQUIPE 1 EQUIPE 2	4º PAVIMENTO
		EQUIPE 1 EQUIPE 2		3º PAVIMENTO
	EQUIPE 1 EQUIPE 2			2º PAVIMENTO
	EQUIPE 1 EQUIPE 2			1º PAVIMENTO
RESUMO - DIMENSIONAMENTO ALVENARIA DE VEDAÇÃO SETOR A				
QUANTIDADES DE ESQUIPES NECESSÁRIAS	COMPOSIÇÃO DAS EQUIPES	PRODUTIVIDADE DA EQUIPE	METRAGEM QUADRADA TOTAL - SETOR A	TEMPO TOTAL DO SERVIÇO
2	2P + 1A	30/M ² /EQUIPE/DIA	4360,6 m ²	51

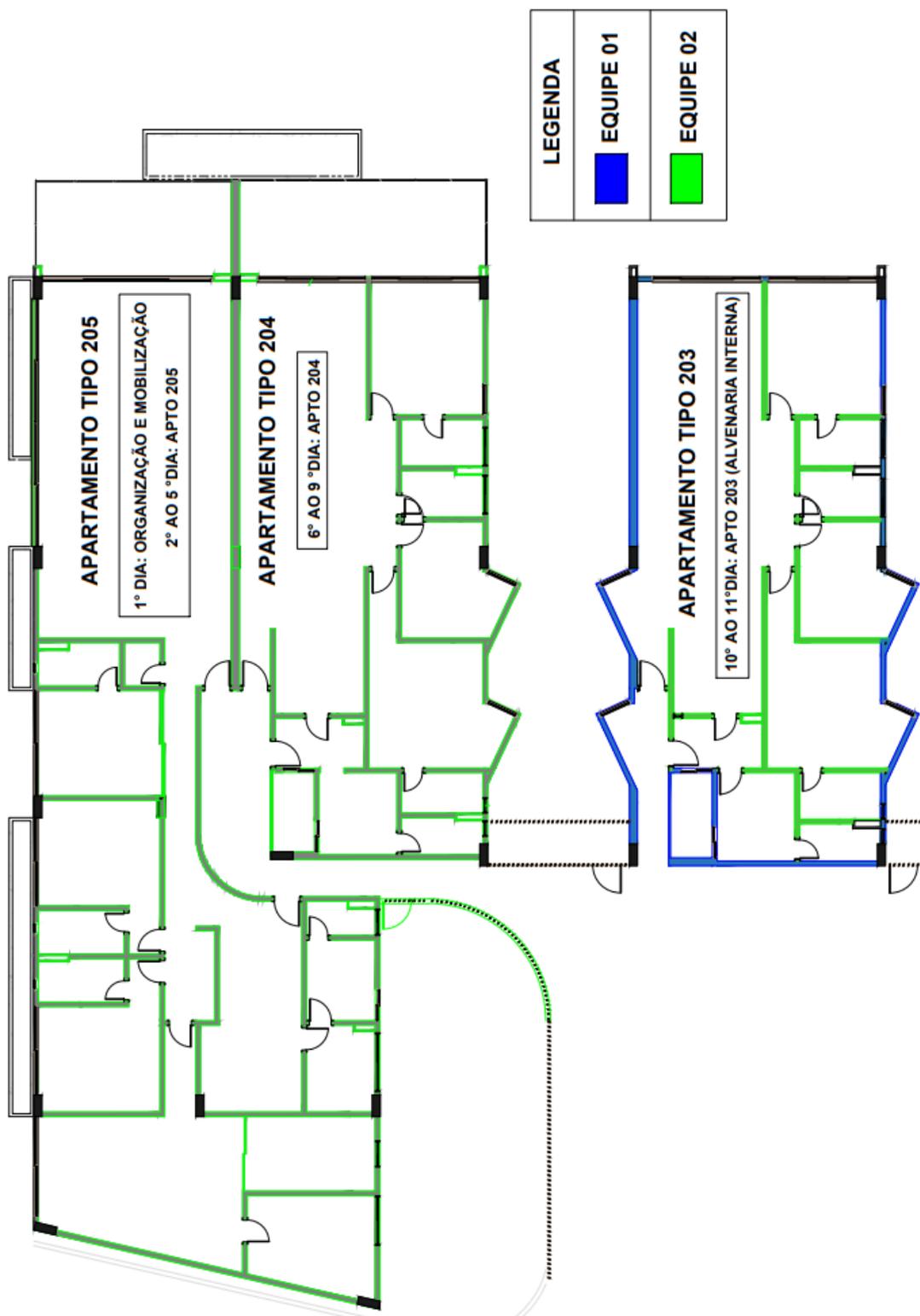
Fonte: Autoral, Retirado do Excel, 2024.

APÊNDICE C – Fluxo do serviço do 2º ao 4º pavimento da equipe 01



Fonte: Autorial, 2024.

FLUXO DE SERVIÇO - EQUIPE 02



Fonte: Autoral, 2024.