

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

MARCIANO TONATTO

**PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE
MÉDIO PRAZO COM APOIO DE BIM**

SÃO LEOPOLDO

2022

MARCIANO TONATTO

**PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE
MÉDIO PRAZO COM APOIO DE BIM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez

São Leopoldo

2022

T663p Tonatto, Marciano.
Proposição de uma estrutura de planejamento e controle de médio prazo com apoio de BIM / por Marciano Tonatto. – 2022.
144 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2022.
“Orientador: Dr. Marco Aurélio Stumpf Gonzalez”.

1. Integração. 2. Pacotes de trabalho. 3. Gestão de projeto. 4. Planejamento. 5. Location based management (LBMS). 6. Building information modeling 4D (BIM 4D).
I. Título.

CDU: 624:65.012.2

MARCIANO TONATTO

**PROPOSIÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE
MÉDIO PRAZO COM APOIO DE BIM**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Aprovado em 21/10/2022

BANCA EXAMINADORA

Sheyla Mara Baptista Serra – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Andrea Parisi Kern – UNISINOS

Marco Aurelio Stumpf Gonzalez – UNISINOS

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marco Aurélio Stumpf Gonzalez, pela sua orientação precisa. Agradeço a confiança e paciência durante os anos da pesquisa. Sou grato pelas contribuições essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Empresa pela oportunidade de realizar os estudos deste trabalho como um projeto piloto. Um agradecimento especial ao gerente do projeto Renato Rocha, por ter aceitado compartilhar suas experiências e fortalecer a construção da dissertação. Meu sentimento de gratidão a coordenadora de engenharia Talita Pagung Favarato pela confiança depositada e todo suporte dado.

Agradeço à minha família, por ter sido minha base de segurança ao longo de todos os anos da pesquisa, cheios de desafios impostos pela pandemia e por mudanças nos rumos profissionais.

RESUMO

A ineficácia dos sistemas tradicionais de gerenciamento de projetos de construção tem resultado na dissociação entre as etapas de Engenharia, Suprimentos e Construção (EPCM - *Engineering, Procurement and Construction Management*), contribuindo para aumentar a fragmentação entre diferentes processos na gestão de empreendimentos. Projetos EPCM caracterizam-se por contratos referentes à execução de empreendimentos de grande porte, custo elevado, longo prazo de planejamento e execução com data de conclusão fixa, equipe técnica especializada e envolvimento de várias partes interessadas. Nesse contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) vem sendo utilizado para facilitar o compartilhamento de informações e apoiar a tomada de decisões que, associado a abordagem de planejamento denominada *Location Based Management* (LBMS), permite que os estágios de um projeto sejam estruturados como um fluxo puxado pelo planejamento da construção. O objetivo desta pesquisa consiste em propor uma estrutura de modelagem de informações para permitir um planejamento e controle mais sistemático a nível de médio prazo através do uso de BIM. É utilizado o modelo 4D para representar e simular o avanço de obra, enquanto as informações do plano de médio prazo são relacionadas a criação dos pacotes de engenharia e suprimentos orientados à construção. O modelo adotou características da abordagem de Pacotes de Trabalho Avançados (AWP - *Advanced Work Packaging*) para apoiar a entrega de todos os pacotes de trabalho detalhados. A linha de balanço foi utilizada para representar os fluxos de trabalho através da estrutura hierárquica de localizações. Como abordagem metodológica, optou-se pela pesquisa construtiva (*design science research*), sendo o modelo desenvolvido através de um estudo exploratório e um estudo empírico aplicados em colaboração com uma empresa de engenharia especializada na indústria farmacêutica e alimentícia. Concluiu-se que a integração dos processos de pré-construção promovida pelo planejamento baseado na localização, com o apoio do BIM, propiciou um controle mais efetivo do plano de médio prazo, permitindo a visualização da variabilidade dos processos produtivos a fim de eliminar ou diminuir as incertezas para a execução das tarefas.

Palavras-chave: integração. pacotes de trabalho. gestão de projeto. LBMS. BIM 4D.

ABSTRACT

The inefficiency of traditional construction project management systems has resulted in the dissociation between the stages of Engineering, Procurement and Construction (EPCM), contributing to increase fragmentation between different processes in project management. EPCM projects are characterized by large contracts, high costs, long planning and execution periods with fixed completion dates, specialized technical staff, and the involvement of several stakeholders. In this context, Building Information Modeling (BIM) has been used to facilitate information sharing and support decision making that, associated with the planning approach called Location Based Management (LBMS), allows the stages of a project to be structured as a flow pulled by the construction planning. The objective of this research is to propose an information modeling structure to allow a more systematic planning and control in the medium term through the use of BIM. The 4D model is used to represent and simulate the construction progress, while the look-ahead planning information is related to the creation of the construction-oriented engineering and procurement packages. The model adopted features of the Advanced Work Package (AWP) approach to support the delivery of all detailed work packages. The balance line was used to represent the workflows through the hierarchical structure of locations. As a methodological approach, constructive research (design science research) was chosen, and the model was developed through an exploratory study and an empirical study applied in collaboration with an engineering company specialized in the pharmaceutical and food industry. It was concluded that the integration of pre-construction processes promoted by location-based planning, with the support of BIM, provided a more effective control of the look-ahead planning, allowing the visualization of the variability of production processes in order to eliminate or reduce the uncertainties for the execution of tasks.

Key-words: integration. work packages. project management. LBMS. BIM 4D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção como um processo de fluxo	23
Figura 2 – A função produtiva e seus desperdícios.....	24
Figura 3 – Formação de desperdícios e perda de valor em projetos de construção .	27
Figura 4 – Evolução do planejamento e envolvimento de gestão	29
Figura 5 – Projeto dos processos críticos para superestrutura de um edifício	30
Figura 6 – O sistema <i>Last Planner</i>	33
Figura 7 – Esquema de separação de níveis para o LBMS	35
Figura 8 – Estrutura de Divisão de Localização do Projeto	35
Figura 9 – Comparação entre métodos de controle	36
Figura 10 – Formação da duração de obra	37
Figura 11 – Fluxo de projetos engineer-to-order	40
Figura 12 – Visão geral do processo do <i>Scrum</i>	41
Figura 13 – Modelo do <i>Advanced Work Packaging</i>	44
Figura 14 – Cronograma de entregas dos pacotes	45
Figura 15 –Gestão de operações, peculiaridades da construção e TIC.....	47
Figura 16 – BIM 4D para o planejamento e controle de sistemas construtivos ETO.	53
Figura 17 – Dependência da realização de benefícios entre o Lean e o BIM	55
Figura 18 – Posicionamento dos estudos no contexto do projeto	58
Figura 19 – Delineamento da pesquisa.....	62
Figura 20 – FEL para empreendimentos da Empresa.....	64
Figura 21 – Quadro <i>Scrum</i> da Empresa.....	64
Figura 22 – Avaliação da solução	67
Figura 23 – Organograma da equipe do projeto.....	68
Figura 24 – Fontes de evidências utilizadas.....	70
Figura 25 – Dados da obra em estudo	71
Figura 26 – Empreendimento em fase conceitual	72
Figura 27 – Cronograma de longo prazo.....	73
Figura 28 – Lista de documentos (LDOC).....	75
Figura 29 – Definição dos níveis de cronograma e WBS	76
Figura 30 – Fluxo de projetos detalhados	76
Figura 31 – Fluxo de atualização da informação gerado durante projeto detalhado .	77
Figura 32 – Proposta de pacotes de trabalho por fase do projeto.....	79

Figura 33 – Faseamento do prédio principal ajustado.....	80
Figura 34 – Divisão das CWAs do projeto.....	81
Figura 35 – Estratégia executiva do empreendimento	82
Figura 36 – Escopo nas linhas de produção no prédio CWA 1000	83
Figura 37 – Organização do escopo de construção	84
Figura 38 – Redes de precedência no cronograma de médio prazo.....	85
Figura 39 – Matriz dos Pacotes de Trabalho de Construção (CWP).....	86
Figura 40 – Estratégia de suprimentos.....	87
Figura 41 – Plano de suprimentos.....	88
Figura 42 – Antecipação da montagem de equipamentos na produção	89
Figura 43 – Organização dos pacotes de engenharia EWPs	90
Figura 44 – Matriz dos Pacotes de Trabalho de Engenharia	91
Figura 45 – Quadro de gestão visual para documentos de engenharia	92
Figura 46 – Quantidade de documentos por Área de Construção	93
Figura 47 – Curva S de pacotes de engenharia	94
Figura 48 – Status de documentos de Engenharia	95
Figura 49 – Quantidade e complexidade de documentos por disciplina	96
Figura 50 – Principais eventos nos fluxos de trabalho CWA 1000	97
Figura 51 – Linha do tempo para pacote 2 de serviços.....	98
Figura 52 – Caracterização do ambiente BIM e servidor	100
Figura 53 – Quantidade de documentos por ambiente de colaboração	101
Figura 54 – Modelagem do faseamento de obra.....	102
Figura 55 – Divergências entre modelo BIM e conferência no canteiro	103
Figura 56 – Codificação em componentes do modelo de arquitetura	104
Figura 57 – Interface entre plataformas de planejamento e modelo BIM	105
Figura 58 – Automatização do processo de vínculo de atividades e elementos	106
Figura 59 – Falta de relação entre atividade do cronograma e pacotes.....	107
Figura 60 – Verificação de interferências relacionada ao progresso do modelo BIM	108
Figura 61 – Detecção de interferência por Pacote de Construção	109
Figura 62 – Fases do processo BIM 4D com o pacote de HVAC no prédio 1000...	110
Figura 63 – Pacotes dos sistemas de HVAC no prédio 1000.....	111
Figura 64 – Modelo 4D simulando o Pacote de Construção de HVAC	112
Figura 65 – Modelo 4D simulando o Pacote de Instalação de HVAC	113

Figura 66 – Divisão dos locais de trabalho.....	114
Figura 67 – Relacionamento entre Gantt e Linha de Balanço	115
Figura 68 – Interrupções entre Atividades na Linha de balanço CWA 1000	116
Figura 69 - Interrupções entre Atividades na Linha de balanço CWA 3100	117
Figura 70 – Operações logísticas nos pacotes de construção de HVAC	118
Figura 71 – Linha de balanço de pacotes de construção do depósito.....	119
Figura 72 – Pressões sobre o início das simulações	120
Figura 73 – Modelo de projetos EPCM da Empresa	121
Figura 74 – Modelo final para projetos EPCM.....	122
Figura 75 – Fluxograma da estrutura proposta	133

LISTA DE SIGLAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AWP	<i>Advanced Work Packaging</i> – Pacotes de Trabalho Avançados
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i> – Método do Caminho Crítico
CWA	Áreas de Trabalho de Construção
CWP	Pacotes de Trabalho de Construção
DSR	<i>Design Science Research</i>
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
EPCM	Engenharia, Suprimentos e Gerenciamento da Construção
ETO	<i>Engineer-to-order</i> – Engenharia sob encomenda
EWP	Pacotes de Trabalho de Engenharia
FEL	Metodologia <i>Front End Loading</i>
IWP	Pacotes de Trabalho de Instalação
LBS	<i>Location Breakdown Structure</i> – Estrutura Hierárquica de Localização
LBMS	<i>Location Based Management</i> – Planejamento Baseado na Localização
LDOC	Lista de Documentos
LOB	Linha de balanço
LOD	<i>Level of Development</i> – Nível de Desenvolvimento
LPS	<i>Last Planner System</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical and Plumbing</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PMP	Plano de Médio Prazo
PSP	Projeto do Sistema de Produção
PWP	Pacotes de Trabalho de Suprimentos
TFV	Transformação, Fluxo e Valor
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
WIP	<i>Work-in-progress</i> – Trabalho em Progresso

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	12
1.2 PROBLEMA	14
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral	16
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	17
1.5 JUSTIFICATIVA	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 GESTÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	21
2.1.1 Modelo de Produção Enxuto	21
2.1.2 O Pensamento Enxuto Adaptado à Construção	24
2.1.3 Projeto do Sistema de Produção (PSP)	28
2.1.4 Planejamento e Controle da Produção (PCP)	30
2.2 LAST PLANNER SYSTEM (LPS).....	32
2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO NA LOCALIZAÇÃO	34
2.4 CONTROLE DE PRODUÇÃO EM PROJETOS ENGINEER-TO-ORDER	38
2.5 A FERRAMENTA <i>SCRUM</i> COMO MÉTODO ÁGIL DE GESTÃO	41
2.6 PACOTES DE TRABALHO AVANÇADOS (AWP).....	42
2.7 MODELAGEM E GESTÃO VISUAL DA INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO.....	46
2.7.1 Desenvolvimento Interativo de Produto e Serviço	48
2.7.2 Modelagem da Informação na Construção (BIM)	49
2.7.3 Uso da Modelagem BIM 4D para Planejamento da Produção	51
2.7.4 A Integração entre o Lean e o BIM	54
3 METODOLOGIA	56
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	56
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	57
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	63
3.4 SELEÇÃO DOS SOFTWARES DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO	65
3.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO MODELO	66
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	68

4.1 ESTÁGIO A – EXPLORAÇÃO E ANÁLISE	70
4.1.1 Descrição da Obra Estudada.....	71
4.1.2 Definições do Projeto.....	74
4.1.3 Levantamento de Condições Existentes do Terreno e Edificações	77
4.2 ESTÁGIO B – APLICAÇÃO PRÁTICA DA PROPOSTA	79
4.2.1 Divisão das Áreas de Trabalho de Construção	80
4.2.2 Definição dos Pacotes de Construção do Empreendimento.....	82
4.2.3 Organização dos Entregáveis de Suprimentos	86
4.2.4 Organização dos Entregáveis de Engenharia.....	89
4.2.5 Organização dos Entregáveis de Instalação.....	97
4.3 ESTÁGIO B – UTILIZAÇÃO DOS MODELOS 4D E LINHA DE BALANÇO	99
4.3.1 Modelagem BIM 3D.....	99
4.3.2 Planejamento da Construção Utilizando o BIM 4D.....	103
4.3.3 BIM 4D no Processo de Criação dos Pacotes de Trabalho	109
4.3.4 Fluxos de Trabalho com Linha de Balanço.....	113
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ESTUDOS	120
5 DISCUSSÃO	123
5.1 UTILIDADE DO MODELO.....	123
5.2 APLICABILIDADE DO MODELO	127
6 CONCLUSÃO	130
6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	130
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	134
REFERÊNCIAS.....	136
APÊNDICE A – CRONOGRAMA DE NÍVEL B.....	142
APÊNDICE B – DASHBOARD ENGENHARIA.....	143

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um processo de planejamento estruturado antes do início da construção pode trazer benefícios substanciais para o desempenho da produção e das metas estabelecidas. Diferentemente dos exercícios de controle que são realizados durante a obra, este esforço inicial de planejamento envolve decisões voltadas ao projeto de sistemas de produção (BARTH *et al.*, 2020).

Embora inúmeros estudos na última década tenham apresentado as vantagens de combinar o *Lean Construction* e o uso da Modelagem da Informação da Construção (*BIM – Building Information Modeling*), poucos resultados de sua integração foram quantificados e publicados até o momento. A aplicação dos princípios de produção enxutos nos processos produtivos da construção tornam a gestão mais colaborativa em comparação com as práticas convencionais de planejamento e controle (FILION; VALDIVIESO; IORDANOVA, 2022).

Um planejamento bem realizado pode aumentar a produtividade, reduzir atrasos, permitir a execução do trabalho na melhor sequência de construtibilidade, combinar mão de obra e trabalho disponível e coordenar várias atividades interdependentes (BALLARD, 1994).

Com tal característica, os esforços na implementação de processos enxutos devem considerar as características do setor e da própria empresa, como a fragmentação da indústria da construção, baixo nível de padronização e digitalização e alterações frequentes solicitadas pelo cliente (SCHULZE; DALLASEGA, 2022). As equipes precisam entender os problemas com seu estado atual, o potencial de melhoria e visualizar os benefícios obtidos com outros estudos de caso do setor ou com suas próprias experiências (LOTA; TM; DAVE, 2022).

1.1 TEMA

Engenharia, Suprimentos e Gerenciamento da Construção (EPCM - *Engineering, Procurement and Construction Management*) é um método de contratação adotado no setor privado para entregar projetos de grande porte. Nos empreendimentos EPCM, o empreiteiro é responsável pela concepção do projeto, engenharia detalhada, aquisição de equipamentos e materiais, construção, testes e comissionamento (MATTA; NAKOUZI; KALACH, 2022). Cada etapa do fluxo do

processo é suportada por uma cadeia de suprimentos - podendo ser informações, decisões ou materiais - que começa desde o projeto até a entrega do material (TOMMELEIN; EMDANAT, 2022).

O relacionamento e o nível de confiança e, portanto, a colaboração entre um empreiteiro geral e subempreiteiros podem facilmente ser impactados negativamente ao longo de um projeto pela falta de transparência e comunicação entre as partes (FILION; VALDIVIESO; IORDANOVA, 2022).

Embora tenham ocorrido vários avanços importantes em sistemas de gestão para construção ao longo da segunda metade do século 20, também há um notável aspecto do setor que permanece amplamente ignorado. Apesar da extensa utilização do Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method – CPM*), o que se argumenta é a falha desse sistema em reconhecer a natureza repetitiva do trabalho de construção, conferindo um grau de imprevisibilidade, e a necessidade de gerenciar a eficiência da produção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

De acordo com Koskela (1992), esses princípios gerenciais negligenciam os princípios de projeto da construção e a melhoria dos processos de fluxo, levando à expansão de atividades que não agregam valor. Através de uma nova visão para os processos produtivos, Koskela (1992) descreve essa abordagem através de processos enxutos, ou construção enxuta (*Lean Construction*).

De acordo com a abordagem enxuta, enquanto todas as atividades de um projeto consomem tempo e incorrem em custos, apenas as atividades que transformam em produto agregam valor ao cliente. Assim, as melhorias do processo devem ser focadas principalmente em reduzir ou eliminar atividades de fluxo e promover maior eficiência para as operações de conversão (KOSKELA, 1992).

Além da construção enxuta, o conceito de industrialização vem ganhando cada vez mais importância. Em projetos de engenharia sob encomenda (ETO - *engineer-to-order*), retira-se parcial ou totalmente a manufatura do local. Ocorre a transformação de uma obra essencialmente construída no local para o ambiente controlado de uma indústria (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014).

Utilizando os princípios básicos da construção enxuta, destaca-se o plano de médio prazo (PMP) como estratégia para planejar e controlar a produção. O PMP consiste em um nível hierárquico de planejamento do *Last Planner System* (LPS) que atua como mecanismo para garantir a concretização dos planos estabelecidos no

longo prazo no nível operacional de empreendimentos de construção (ANGELIM et al., 2020).

Da mesma forma, Kenley e Seppänen (2006) propuseram outra sistemática de gestão, denominada de Planejamento e Controle Baseado na Localização (*LBMS - Location-Based Management System for Construction*). O LBMS oferece um mecanismo para o planejamento, por meio da localização como unidade de análise à programação de atividades, e usando tarefas como unidade de controle.

Enquanto o LPS desempenha um papel fundamental ao lidar com as incertezas e complexidades do projeto, estabelecendo níveis de planejamento e criando uma reserva de atividades livres de restrições, o LBSM trata explicitamente de vários conceitos que desempenham um papel fundamental na filosofia *Lean*, como tamanho de lote, tempo de ciclo, sincronização da produção e controle do trabalho em progresso (FORMOSO et al., 2022).

Nesse sentido, a modelagem BIM 4D traz alguns benefícios ao processo de planejamento e controle, como aumentar a comunicação e o entendimento das decisões entre as equipes, entender a relação da gestão da produção com as disciplinas e permitir a simulação de vários cenários de forma rápida (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015).

1.2 PROBLEMA

A incorporação de novas tecnologias junto com o movimento em direção a industrialização revolucionou vários aspectos da vida humana. A indústria da construção também está sujeita a essa tendência. Ainda assim, grande parte do setor opera seus contratos e projetos da forma tradicional (BORJEGHALEH; SARDROUD, 2016). Para Schramm e Formoso (2015), o processo de modelagem e simulação, em função do esforço e tempo de desenvolvimento requeridos, carece de informações com maior antecedência, a fim de permitir seu uso durante o Projeto do Sistema de Produção (PSP).

Devido às características peculiares da indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), as incertezas do setor conferem algumas dificuldades ao planejamento de projetos. Devido à percepção dos benefícios da antecipação dos esforços no PSP em relação ao início do empreendimento, costuma-se postergar o momento de início de tomada de decisão. Impulsionado pelo nível de incerteza existente, o início do

processo é protelado com vistas a tentativa de reduzir a incerteza, o que pode gerar a necessidade de maior número de revisões de decisões tomadas ao longo do processo (SCHRAMM; FORMOSO, 2015).

Além disso, durante as fases de projeto básico e detalhado, o foco na modelagem BIM está no desenvolvimento de sistemas e componentes. Assim, o aumento no número de elementos e atributos causam um aumento exponencial nas dependências espaciais dos componentes e suas inter-relações. Isso aumenta o tempo e o custo de incorporar mudanças de projeto no modelo (PILEHCHIAN; STAUB-FRENCH; NEPAL, 2015).

Para rastrear as consequências das mudanças, os dados do projeto precisam estar integrados em um modelo BIM. Esses dados são armazenados em diferentes bancos de dados que não são vinculados aos modelos. Embora a modelagem 4D e 5D auxilie a integrar uma parte desses dados ao modelo, o BIM ainda precisa ser utilizado como outras abordagens de gestão de projetos para promover a integração entre projeto e construção (PILEHCHIAN; STAUB-FRENCH; NEPAL, 2015).

De acordo com Dave (2013), as tecnologias empregadas no setor levam ao desperdício não apenas durante a fase de construção, mas também durante todo o ciclo de vida da edificação. Outros fatores, como cadeia de suprimentos fragmentada, planejamento e controle ineficientes e a alta variabilidade nas taxas de produtividade também parece estar relacionados ao mesmo problema fundamental, em parte, devido à falta de uma teoria efetiva por trás da gestão da construção.

Do ponto de vista da gestão da produção, os aspectos de integração da informação, visualização e sincronização surgem como os mais importantes fatores de estudo e pesquisa da literatura. Também se verifica que os sistemas de gestão da produção lidam ineficientemente com estes aspectos. Considerando que os pontos positivos e negativos de cada mecanismo atuam separadamente, há a ausência de um sistema que integre os três recursos – informação, visualização e sincronização - em uma única estrutura (DAVE, 2013).

Além disso, na construção, é a equipe de instalação que se move entre as estações de trabalho. Dentro de um canteiro de obras, um local do projeto pode estar fisicamente ocupado por várias estações de trabalho. Assim, o congestionamento gerado tem influência na produtividade das equipes (KOSKELA, 2000). O objetivo de realizar a gestão do espaço de trabalho é garantir que não existam tais conflitos espaciais e congestionamentos e, conseqüentemente, eliminar ou diminuir seu

impacto negativo em custo, tempo e segurança do projeto (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015).

Em se tratando de projetos de tipo ETO, apesar do controle exercido durante a fabricação, identificam-se problemas práticos comuns, como processo não sistemático de planejamento e controle entre produção, montagem e obra, o que contribui para a ineficácia na troca de informações entre fábrica e canteiro. Além disso, a imprevisibilidade, com elementos tais como incertezas ou alterações no projeto por parte do cliente, também acontece, dificultando a definição da sequência de montagem muito tempo antes da execução de cada etapa (BATAGLIN *et al.*, 2018).

Os desafios para as abordagens de gestão da produção e espaços de trabalho são a falta de representação espacial em técnicas de programação convencionais e a incapacidade das ferramentas de planejamento de incluir zonas de trabalho como uma variável de projeto (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015).

Além disso, a abordagem de cima para baixo na implementação de processos enxutos não se sustenta a longo prazo dentro da organização. Sem um processo estruturado de gerenciamento, com treinamento adequado e período de incubação para as equipes, os participantes tem dificuldade em compartilhar a visão *Lean* e, portanto, resistem ao alinhamento com as mudanças promovidas pela nova abordagem (LOTA; TM; DAVE, 2022).

Angelim *et al.* (2020) apontam falhas recorrentes durante a realização do PMP e esforços reduzidos a funções básicas de sua implementação. O PMP relacionado a abordagens como análise de fluxos físicos, gestão de custos, planejamento e controle da segurança do trabalho e utilização do BIM como apoio foram pouco exploradas na literatura, caracterizando-se como uma lacuna de conhecimento.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor uma estrutura de modelagem de informações para permitir um planejamento e controle mais sistemático a nível de médio prazo através do uso de BIM.

1.3.2 Objetivos Específicos

Com vistas à consecução deste objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) adaptar características do Planejamento e Controle Baseado na Localização e Pacotes de Trabalho Avançados no desenvolvimento dos modelos 4D;
- b) identificar desafios e oportunidades na utilização das informações do modelo BIM para apoiar a integração entre as fases de projeto em empreendimentos complexos.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Os resultados apresentados nesta pesquisa são limitados pelo fato de serem baseados em um único estudo de caso. A utilização do LBMS e princípios do LPS também é uma delimitação do estudo, pois o mesmo condiciona o método às características destas abordagens.

O foco do modelo proposto é trazer melhorias no processo de produção de projeto e na interface até o plano de médio prazo, não abordando diretamente a qualidade das soluções técnicas e formais.

Esta pesquisa concentra-se na etapa de engenharia de uma empresa envolvida em projetos ETO. Uma vez que a etapa de engenharia é a principal fonte de *lead time* controlável no processo de ETO, faz sentido o esforço em melhorar a qualidade dos processos nesta etapa (GRABENSTETTER; USHER, 2014).

1.5 JUSTIFICATIVA

A abordagem LBMS pode direcionar o planejamento do sistema de produção a fim de atender as demandas das equipes de gestão da produção. Barth *et al.* (2020) propõem esta abordagem em projetos com grande quantidade de trabalho em progresso (WIP – *work in progress*), sendo esta uma característica de projetos com baixo padrão de repetição.

Para garantir a integração entre o cronograma mestre e os planos detalhados de construção, o projeto precisa ser segmentado não apenas pela Estrutura analítica

do Projeto (WBS), mas também pela Estrutura Hierárquica de Localização (LBS). A LBS determinada em conjunto com a equipe que irá executar as atividades, promove a colaboração desde as fases iniciais, sendo seguida ao iniciar os serviços, enquanto a WBS controla os detalhes do cronograma (FILION; VALDIVIESO; IORDANOVA, 2022).

O planejamento puxado é utilizado para garantir que as informações estruturadas e introduzidas pelo CPM sejam validadas. A visão da gestão como um processo puxado incentiva a colaboração e garante que os planos sejam testados, os principais marcos contratuais sejam validados e as atividades mais críticas sejam destacadas. Durante a elaboração do cronograma de longo prazo e médio prazo, as sequências são confirmadas pelos empreiteiros especializados e desafiados a verificar a sua conformidade com as capacidades produtivas. A validação também pode ser auxiliada por simulações 4D (FILION; VALDIVIESO; IORDANOVA, 2022).

Dessa forma, fundamentado pelos princípios da construção enxuta e do BIM, busca-se uma oportunidade de alcançar a visualização do produto e do processo durante o gerenciamento da produção. Isso leva ao desenvolvimento de uma solução potencial de gestão de projetos de construção por meio de um sistema integrado (DAVE, 2013).

O uso do BIM, apesar de ser uma ferramenta, pode auxiliar a equipe a resolver tais dificuldades. Entretanto, a indústria da construção não mudará apenas devido ao emprego do *software* e da tecnologia, a necessidade de mudança é muito mais fundamental (KYMMELL, 2008). Nesse sentido, a construção enxuta, por meio de seu foco na colaboração desde os estágios iniciais de projeto e ênfase no controle durante a produção, fornece um ambiente muito favorável para a implementação do BIM (DAVE, 2013).

Embora muitas vezes utilizados de forma independente, a interação entre o BIM e o *Lean Construction* potencializa o impacto de cada abordagem. Um total de 56 interações entre os princípios enxutos e as funcionalidades do BIM foram identificadas por Sacks et al. (2010), enfatizando que todo o potencial só pode ser atingido quando sua adoção é totalmente integrada.

A gestão visual desempenha um papel fundamental na implementação do planejamento puxado. É muito importante para visualizar os fluxos de trabalho em horizontes mais longos que o planejamento de curto prazo, restrições operacionais que precisam ser removidas, desvios no ritmo dos processos e as zonas de trabalho

que devem ser priorizadas em termos de conclusão de lotes em diferentes níveis hierárquicos (FORMOSO *et al.*, 2022).

Para Biotto, Formoso e Isatto (2015) poucos estudos são relacionados a implementação de modelagem BIM 4D à gestão dos sistemas de produção em obras a partir do emprego da produção enxuta. A maioria dos trabalhos publicados é voltada a canteiros de obras com sistemas construtivos convencionais (BATAGLIN *et al.*, 2018).

Um dos trabalhos que abordaram a gestão da produção de sistemas construtivos pré-fabricados do tipo ETO foi o de Bortolini (2015). A autora propôs um modelo de planejamento e controle de estruturas metálicas pré-fabricadas com o uso da modelagem BIM 4D, explorando as sinergias entre as funcionalidades do BIM e princípios da produção enxuta, conforme sugerido por Sacks *et al.* (2010).

Filion, Valdivieso, Iordanova (2020) sugerem a integração do planejamento de longo prazo à fase de construção desde o início do projeto, envolvendo os parceiros nas decisões. Como resultado, o planejamento pode ser atualizado conforme diligenciamento das equipes, aumentando a confiança das informações apresentadas nos modelos BIM e cronogramas visuais. Além disso, o painel pode apresentar indicadores para uma visão do desempenho do projeto às partes interessadas.

Borjegahleh e Sardroud (2016) apontam os potenciais benefícios da aplicação de BIM como ferramenta na gestão de sistemas industrializados, incorporando o uso da modelagem BIM 4D nas fases de projeto, planejamento do fluxo de materiais, mão de obra e equipamentos em diferentes etapas do processo. Ergen e Akinci (2008), por sua vez, destacam o papel da tecnologia da informação e comunicação na gestão do fluxo de informações em sistemas de produção do tipo ETO.

Kassem, Dawood e Chavada (2015) propuseram um método para gerenciamento dos espaços de trabalho do canteiro de obras com o propósito de evitar congestionamentos, conflitos espaciais e temporais. Biotto, Formoso e Isatto (2015) desenvolveram um método para apoiar a gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção através da modelagem BIM 4D para o PSP e PCP.

Yu, Li e Luo (2016) desenvolveram um modelo dinâmico baseado em BIM para o planejamento e disponibilização de materiais no canteiro de obras, de modo a integrar as informações de quantidades de materiais, tempo de entrega e áreas disponíveis para armazenamento, auxiliando no arranjo das estações de estoque e na melhoria da eficiência da produção.

Dessa forma, Biotto, Formoso e Isatto (2015) destacam a necessidade da ampliação do escopo da modelagem, que inclui não somente sequência de execução da obra (atividades que agregam valor), mas também equipamentos de movimentação de materiais, proteção coletiva, instalações provisórias, entre outros. Enquanto as zonas de trabalho estão sendo identificadas, as equipes consideram o espaço de armazenamento necessário para abrigar temporariamente os materiais, demonstrando que cada local precisa ser definido com espaço suficiente para organizar o recebimento e facilitar a instalação (TOMMELEIN; EMDANAT, 2022). O emprego do BIM 4D permite identificar diversos conflitos desse tipo, os quais podem passar despercebidos durante o planejamento da obra e que resultariam em problemas durante a sua execução (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015).

Os autores também sugerem o uso combinado dos modelos BIM 4D com outras ferramentas de planejamento e controle, tais como linha de balanço e histograma de mão de obra. Para Schramm e Formoso (2015), o emprego integrado de ferramentas, como a linha de balanço, melhora a visualização dos resultados da simulação e podem trazer inúmeros benefícios ao processo sob o ponto de vista das atividades de transformação, mas, sobretudo, das atividades de fluxo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo inicia com conceitos relacionados à gestão da produção e técnicas de planejamento e controle da produção baseados em conceitos fundamentais da construção enxuta e segue para assuntos relacionados ao uso da modelagem BIM.

2.1 GESTÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Conforme Koskela (2000), durante o século 20, a produção foi principalmente conceituada com uma transformação de entradas em saídas. No entanto, a visão da transformação não é útil para descobrir como não usar recursos que não agregam valor ou como garantir que os requisitos do cliente sejam atendidos da melhor forma.

Assim como o sistema de Henry Ford, o Sistema Toyota de Produção está baseado no sistema de fluxo de trabalho, eliminando o desperdício (OHNO, 1997). Portanto, os princípios de redução do tempo de entrega, redução da variabilidade e simplificação são promovidos (KOSKELA, 2000).

No entanto, uma terceira visão da produção existe desde os anos 1930. Princípios relacionados à análise rigorosa de requisitos e fluxo sistematizado de requisitos são apresentados com o objetivo de alcançar o melhor valor possível a partir do ponto de vista do cliente (KOSKELA, 2000).

Assim, pode-se conceituar a produção simultaneamente a partir destes três pontos de vista: transformação, fluxo e valor. Os conceitos e princípios associados são parciais e complementares, podendo unificá-los através da teoria de produção denominada TFV (Transformação, Fluxo e Valor) (KOSKELA, 2000).

2.1.1 Modelo de Produção Enxuta

Após a Segunda Guerra, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, da Toyota, foram pioneiros no conceito de produção enxuta (WOMACK; JONES; ROOS, 2004). Nas décadas de 1970 e 1980, os japoneses já estavam dominando este estilo distinto de fabricação, assim como os americanos fizeram no século anterior. A fonte direta de muitas das ideias representadas pelo *Just in Time* (JIT) foi o trabalho de Taiichi Ohno, iniciado em 1945, na Toyota (HOPP; SPEARMAN, 2001). O engenheiro Ohno acompanhou o

trabalho de Henry Ford¹ e continuou o desenvolvimento da gestão da produção baseada em fluxo (HOWELL, 1999).

Contudo, ao contrário de Ford, que tinha uma demanda quase ilimitada por um produto padrão, Ohno desejava produzir automóveis de acordo com o pedido do Cliente. Começando com esforços para reduzir tempo de configuração de máquinas, ele desenvolveu um conjunto de objetivos, que tratavam de produzir um carro seguindo os requisitos do Cliente, entregando-o rapidamente e não criando desperdícios com estoques intermediários (HOWELL, 1999).

A base do Sistema Toyota de Produção é a absoluta eliminação do desperdício, sustentada por dois pilares fundamentais: o JIT e a autonomação² com um toque humano (OHNO, 1997). Segundo Ohno (1997), através do JIT, em um processo de fluxo, as peças alcançam a linha de montagem no momento exato e somente na quantidade necessária, configurando o estoque zero. O meio utilizado para transmitir toda esta informação se dá por meio do *Kanban*³. A autonomação, por outro lado, busca eliminar a superprodução. O controle visual instrui o operador sobre os defeitos e isto faz com que sejam adotadas medidas que fortaleçam o sistema produtivo (OHNO, 1997).

Assim como a produção em massa, o Sistema Toyota de Produção está baseado no conceito de fluxo de trabalho, conforme Figura 1. Porém, o sistema enxuto busca sincronizar o que é produzido através do nivelamento da produção⁴, visto que as flutuações no fluxo do produto fazem aumentar os desperdícios. Os tamanhos dos lotes são diminuídos e o fluxo contínuo de um item em larga escala é evitado (OHNO, 1997).

De acordo com Koskela (2000), as atividades que não agregam valor são originadas de três causas: a estrutura do sistema de produção, o modo como a produção é controlada e a natureza inerente da produção.

Segundo o autor, a estrutura do sistema de produção determina o fluxo de materiais e informações. Contudo, a organização hierárquica das organizações pode promover o desperdício. Sempre que uma tarefa é dividida em duas subtarefas

¹ Henry Ford (1863-1947) tornou possível a produção em massa em alta velocidade, com a invenção da linha de montagem móvel (HOPP; SPEARMAN, 2001).

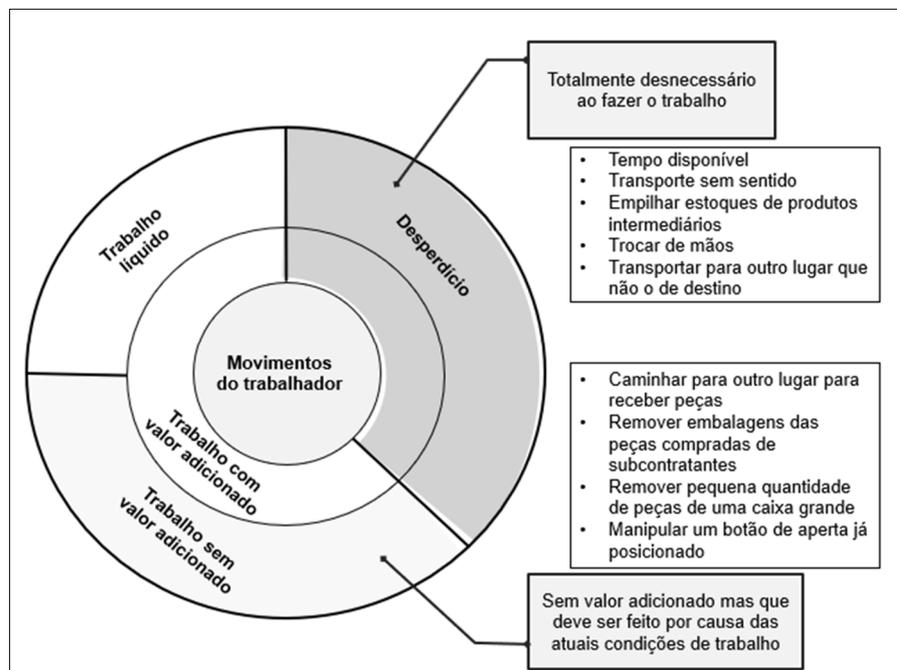
² Ohno utiliza o termo *autonomation* (autonomação) para descrever este conceito.

³ Trata-se de um quadro de sinalização que circula entre os processos para controlar a quantidade necessária a ser produzida (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

⁴ *Heijunka* é a palavra japonesa para o nivelamento do planejamento da produção (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

respectivamente. Desta forma, os métodos de ataque a essas três fontes de desperdícios também são diferentes.

Figura 2 – A função produtiva e seus desperdícios



Fonte: Ohno (1997).

Da mesma forma, o controle utilizado na produção afeta os desperdícios de duas maneiras: os princípios de controle usados podem produzir mais ou menos perdas e deficiências na conformidade em atender requisitos podem causar desperdícios. É inerente à natureza da indústria da construção que existam desperdícios, dado, especialmente, a variabilidade de todas as atividades produtivas, assim como o erro humano (KOSKELA, 2000).

2.1.2 O Pensamento Enxuto Adaptado à Construção

A indústria da construção caracteriza-se por um arranjo de produção influenciado pelos princípios do conceito de transformação e os legados do período artesanal. Koskela (2000) enfatiza as características principais: a separação do projeto e execução, contratação por meio de licitação e funções institucionalizadas e divisão de trabalho.

Vários sistemas têm sido utilizados para planejar e controlar projetos de construção. Os sistemas mais relevantes são o Método do Caminho Crítico (CPM),

técnicas baseadas em locais de trabalho e o *Last Planner System* (LPS) (OLIVIERI *et al.*, 2019). A fase de planejamento refere-se basicamente a criação do plano de tempo e recursos, utilizando as redes CPM (LAUFER; TUCKER, 1987).

As redes CPM se adaptam muito bem a projetos onde as atividades são completamente discretas e sem correlação. Na visão do CPM, o projeto é construído por meio de uma rede lógica de operações com duas divisões: determinística (CPM) e probabilística (PERT). Cada atividade individual é considerada livre para se deslocar no espaço temporal, desde que mantenha sua relação lógica com suas predecessoras e sucessoras (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

O controle de projetos é concebido como monitoramento do cumprimento de contratos ou tarefas em relação ao seu cronograma e projeções de orçamento. Por esta razão, o sistema CPM é associado s requisitos contratuais e análise de caminho crítico (HOWELL, 1999; OLIVIERI *et al.*, 2019). Esta abordagem pressupõe que se todos cumprirem com suas obrigações contratuais, o projeto se realiza com sucesso (BALLARD, 2000).

O relatório “Aplicação da Nova Filosofia de Produção à Construção”, publicado por Koskela em 1992, foi a primeira pesquisa que buscou entender se os métodos gerenciais utilizados na indústria automotiva, especialmente na Toyota, chamados primeiro de produção *Just in Time* e, posteriormente, de *Lean Production* (LP), também eram aplicáveis na construção .

A *Lean Construction* (LC) pode ser definida como um conjunto de novos processos para a gestão da construção baseados na produção enxuta, que ajudam a melhorar a eficiência do processo produtivo, fornecendo melhor valor para o cliente e reduzindo todas as formas de desperdícios do processo (DAVE, 2013).

Em 1997 foi fundado o *Lean Construction Institute* (LCI). Fundamentado pelas discussões sobre a produção enxuta na construção promovidas no início da década, o instituto foi fundado como uma parceria entre Gregory A. Howell e Glenn Ballard com o objetivo de expandir os conceitos e práticas em gestão da produção na indústria da construção (BALLARD, 2000).

Koskela (1992) define alguns princípios heurísticos para projetar, controlar e melhorar os processos de fluxo na prática da nova filosofia de produção, sendo eles:

- a) reduzir as atividades que não agregam valor;
- b) aumentar o valor para o Cliente por meio da consideração sistemática de seus requisitos;

- c) reduzir a variabilidade;
- d) reduzir o tempo de ciclo;
- e) simplificar, minimizando etapas, peças e ligações;
- f) aumentar a flexibilidade de produção;
- g) aumentar a transparência do processo;
- h) foco no controle do processo como um todo;
- i) promover a melhoria contínua;
- j) equilibrar a melhoria do fluxo com a melhoria da conversão;
- k) promover o *benchmarking*;

Howell (1999) aponta que o primeiro objetivo da construção enxuta deve ser compreender totalmente a física subjacente da produção, através dos efeitos da dependência e variação ao longo das cadeias de suprimentos e montagem no canteiro. Apesar dos esforços, os sistemas de produção não funcionam satisfatoriamente quando as pessoas tentam otimizar seu desempenho sem compreender como suas ações afetam a rede de atividades.

Dave (2013) propõe a abordagem de um sistema de gerenciamento de produção que desenvolva o aspecto de geração de fluxo e valor ao lado da transformação. E o mais importante, essa estratégia deve considerar as dimensões de integração de informações, sincronização e visualização simultaneamente.

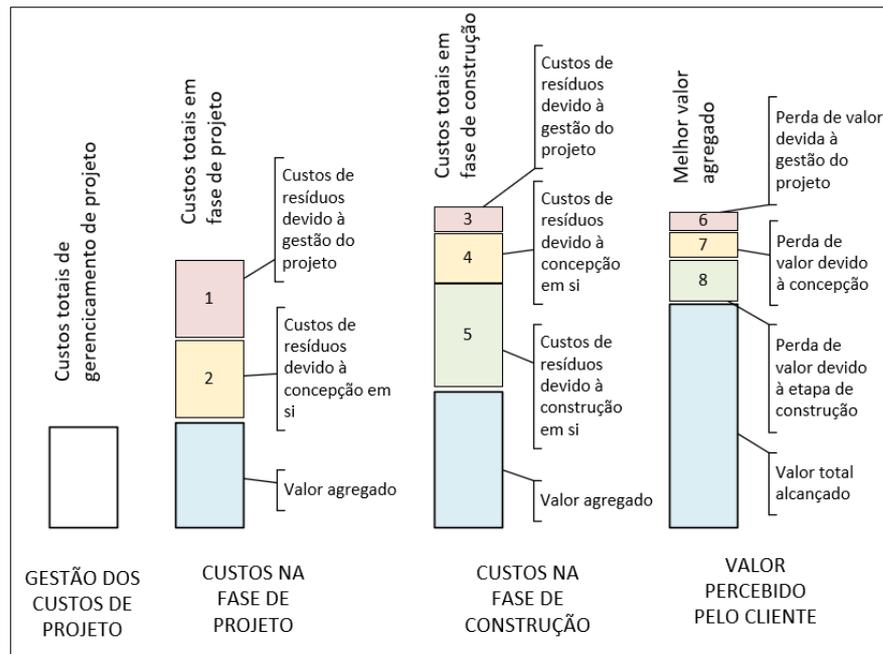
Koskela (2000) cita o projeto do sistema de produção insatisfatório e controle da produção inadequado como causas para uma série de desperdícios e formação de perda de valor ao longo do projeto, conforme a Figura 3. As perdas se originam principalmente nas fases anteriores ao processo de produção, causados geralmente por problemas de decisão do cliente, fabricação, gestão do projeto, gestão da cadeia de abastecimento e controle da produção (KOSKELA, 2000).

Koskela (2000) propõe que os princípios do TFV sejam aplicados na concepção, controle e melhoria dos sistemas de produção da construção. O autor argumenta que não é necessário, mas vantajoso, eliminar as peculiaridades da construção como produtos únicos, construção no local e organização temporária de projetos. Posteriormente, se eles não forem eliminados por projeto do sistema de produção, devem ser mitigados por controle ou melhoria.

Isto posto, a teoria TFV tem o potencial de estimular grandes mudanças no desempenho da indústria da construção. É necessário que a disciplina da engenharia e gestão da construção integrem a cadeia de valor que se concentra na concepção,

projeto, produção e operação. Os esforços de desenvolvimentos em potenciais benefícios, como industrialização e uso de tecnologia da informação na construção, precisam ser redirecionados de acordo com esta visão de produção (KOSKELA, 2000).

Figura 3 – Formação de desperdícios e perda de valor em projetos de construção



Fonte: adaptado de Koskela (2000).

Nesse sentido, o mecanismo para a execução eficiente de uma obra é o planejamento e controle. São os processos que produzem as diretrizes do projeto, condicionando os fluxos de coordenação para que o trabalho no canteiro possa estar mais próximo da condição ideal (BALLARD, 1998).

Koskela (2000) cita que três operações gerais devem ser realizadas sob a orientação da teoria da produção: o projeto do sistema de produção⁶ (PSP), o controle do sistema de produção (PCP), a fim de obter a produção necessária e a melhoria do sistema de produção.

⁶ O projeto de um sistema de produção, como um nível gerencial, não deve ser confundido com o projeto de um produto, que é uma fase de produção (KOSKELA, 2000).

2.1.3 Projeto do Sistema de Produção (PSP)

A atividade de um projeto em produção aplica-se tanto a produtos (ou serviços) como a sistemas (processos). Frequentemente, trata-se os dois aspectos do projeto como se fossem atividades separadas. Entretanto, eles são claramente inter-relacionados, principalmente em operações que produzem serviços. Afinal, muitos serviços envolvem o cliente no processo de transformação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Na orientação de fluxo, o impulso básico é eliminar as perdas nos processos de projeto, como redução de retrabalho e liberação de informações para produção em lotes menores. Na visão de geração de valor, o objetivo é alcançar o maior valor possível para a solução de projeto do ponto de vista do cliente, tal como práticas de análise de requisitos rigorosa e iterações rápidas para melhoria (KOSKELA, 2000).

De acordo com Koskela (1992), existem dois processos principais em um projeto de construção. O primeiro é o Projeto do Sistema de Produção (PSP), que consiste na etapa de identificação dos requisitos do cliente e detecção e solução de problemas. O segundo é o Planejamento e Controle da Produção (PCP), que pode ser dividido no fluxo de materiais (processamento e montagem no local) e no fluxo temporal e espacial das equipes de construção, que consiste no processo de trabalho do pessoal de obra.

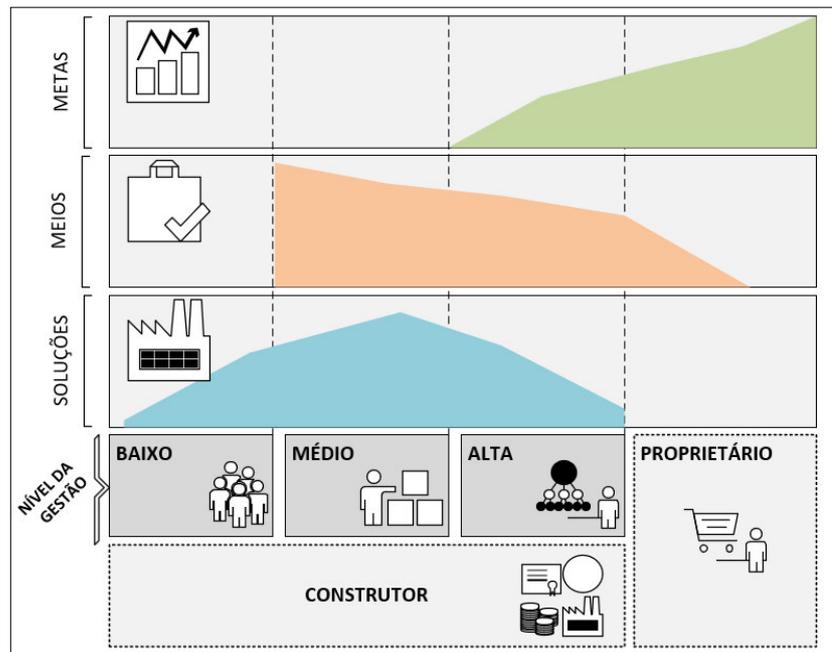
Barth *et al.* (2020) apontam uma série de benefícios na implantação do PSP. O PSP facilita a tomada de decisão ao passo que explicita e formaliza a estratégia de execução para o projeto. As decisões são baseadas nas experiências de várias partes interessadas e utilizadas posteriormente para os planos de produção.

O planejamento da produção responde: o que deve ser feito (atividades), como as atividades devem ser realizadas (métodos), quem deve realizar e com que meios (recursos), e quando as atividades devem ser executadas (sequência e tempo) (LAUFER; TUCKER, 1987). O PSP promove discussões e questionamentos acerca das características do sistema de produção do empreendimento (SCHRAMM; FORMOSO, 2015).

O PSP ajuda a identificar as limitações do sistema de produção e processos críticos. Conforme adiciona um nível de planejamento superior à programação mestre, em vez de inferior, como na programação de etapas, o PSP atua como mecanismo para reduzir a incerteza da produção (BARTH *et al.*, 2020).

Nesse sentido, Laufer e Tucker (1987) pressupõe que o planejamento deve ser compatível com os papéis e níveis de gestão indicados na Figura 4. Normalmente, o cliente e a alta gestão da construtora são envolvidos na definição das metas do projeto, como qualidade, custo e tempo. A gestão intermediária está mais envolvida na seleção dos meios (recursos), enquanto as equipes executoras auxiliam aos gestores na elaboração de soluções de cunho prático.

Figura 4 – Evolução do planejamento e envolvimento de gestão



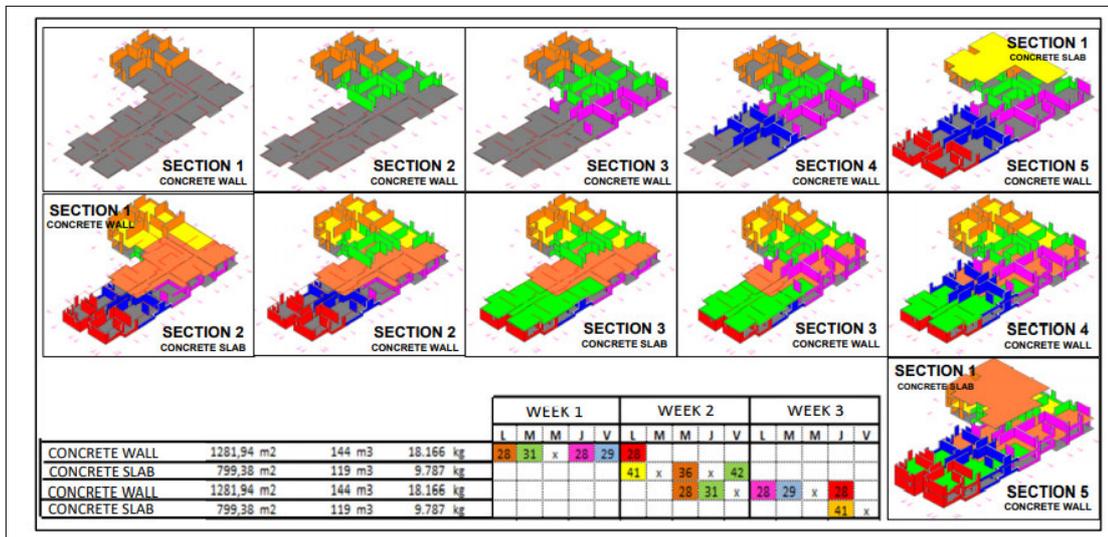
Fonte: adaptado de Laufer e Tucker (1987).

As práticas do PSP fornecem informações que tornam possível implementar o *takt time* (tempo necessário para completar a produção e atender a uma demanda do consumidor) e o tempo de ciclo de forma sistemática. Conforme ilustrado na Figura 5, ambos podem ser extraídos do projeto dos processos críticos e controlados por indicadores de desvio de ritmo e variação do tempo de ciclo (BARTH *et al.*, 2020).

De acordo com Laufer e Tucker (1987), também pode-se abordar outros objetivos para o planejamento, com o viés de otimização. Neste aspecto, a ênfase é na avaliação de alternativas de construção (construtibilidade), processos construtivos (eficiência) e em condições ambientais alternativas (contingência). Dessa forma, o processo de elaboração do PSP formaliza e registra decisões para que, ao final do processo, um relatório seja elaborado e utilizado para embasar tanto decisões ao

longo da fase de execução como a futuros empreendimentos (SCHRAMM; FORMOSO, 2015).

Figura 5 – Projeto dos processos críticos para superestrutura de um edifício



Fonte: Barth *et al.* (2020).

Com tal característica, o PSP melhora a precisão do planejamento explorando múltiplas alternativas de sistemas e subsistemas de construção, promovendo o fluxo de informações por meio de colaboração entre as equipes. Sendo necessário, os cenários alternativos podem ser implementados caso a estratégia de execução original não possa ser iniciada (BARTH *et al.*, 2020).

Por fim, para Schramm e Formoso (2015) o PSP estabelece um estado futuro a ser alcançado. Um plano de longo prazo pode ser considerado como o produto do PSP. Da mesma forma, através do modelo proposto, Barth *et al.* (2020) destacam que, embora o PSP exija um esforço colaborativo na fase de pré-construção, não entra em conflito com adoção de diferentes níveis de planejamento hierárquico proposto pelo LPS.

2.1.4 Planejamento e Controle da Produção (PCP)

Apesar de não haver uma divisão clara entre planejamento e controle, nem na teoria, nem na prática, há algumas características que os distinguem. Um plano é uma formalização de o que se pretende que aconteça em um determinado espaço temporal no futuro. Um plano não garante que um evento irá acontecer devido à inúmeras incertezas. Controle é o processo de lidar com essas variações, fazendo ajustes que

permitem que a operação atinja os objetivos que o plano estabeleceu (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

A natureza do planejamento e controle muda ao longo do tempo. Slack, Chambers e Johnston (2002) definem as fases do PCP, conforme a proximidade da data do evento, em planejamento e controle de longo, médio e curto prazo. Enquanto o plano de longo prazo é feito de forma agregada, no outro extremo, a curto prazo, o controle opera dentro das limitações de recursos da operação.

Se o planejamento estabelece metas e o curso para alcançá-las, o controle é o processo que garante que o curso de ação seja mantido e os objetivos do projeto sejam alcançados. O controle envolve medir e avaliar o desempenho e tomar medidas corretivas quando os resultados divergem do planejado. Para ser eficaz, um sistema de controle deve ser modelado logo após o projeto do processo formando um ciclo contínuo de melhoria (LAUFER; TUCKER, 1987).

Segundo Laufer e Tucker (1987), o controle é necessário para conter três elementos de risco, que afeta particularmente projetos de construção grandes e complexos:

- a) risco conceitual, resultante da formulação incorreta de problemas;
- b) risco administrativo, decorrente de falhas administrativas na implementação de soluções;
- c) risco ambiental, derivado de mudanças imprevistas que afetam até mesmo planejamentos bem concebidos e implementados.

Os mesmos autores pressupõem outra atribuição para o planejamento: a previsão. A previsão envolve o dimensionamento do desempenho do projeto em marcos futuros especificados previamente e derivados do processamento de informações coletadas no passado e que servem como instrumento de tomada de decisão.

Assim, o planejamento de curto prazo torna-se predominantemente a programação de ações, enquanto o planejamento de longo prazo torna-se principalmente preventivo. O intervalo de tempo entre a programação e a ação é denominado horizonte de planejamento (LAUFER; TUCKER, 1988). Desse modo, o grau de incerteza da demanda afeta o equilíbrio entre planejamento e controle. Quanto menor a previsibilidade do processo, mais difícil será planejar, e maior ênfase deverá ser dada ao controle (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

2.2 LAST PLANNER SYSTEM (LPS)

A construção requer um planejamento feito por diferentes envolvidos no projeto, em múltiplas esferas dentro da organização e em diversos momentos durante o ciclo de vida da edificação. A gerência de alto nível tende a se concentrar em objetivos globais e restrições que regem todo o projeto. Esses objetivos conduzem o planejamento de nível inferior, que especificam meios para atingir esses fins. A pessoa ou grupo que produz atribuições diretamente são denominados de “últimos planejadores” (BALLARD, 1994).

O método *Last Planner* (LPS) foi proposto por Glenn Ballard e Greg Howell, em 1992. O desempenho do sistema de produção é definido pela qualidade do resultado obtido no pacote de trabalho. As características críticas do plano de trabalho indicadas por Ballard (1994) são:

- a) sequência correta, do ponto de vista do cronograma do projeto, estratégias de execução e construtibilidade;
- b) quantidade adequada de trabalho, definida pelos planejadores como sendo possível de ser concluída;
- c) tarefas práticas, significando que todo o trabalho que será executado tem todos os pré-requisitos e recursos disponíveis.

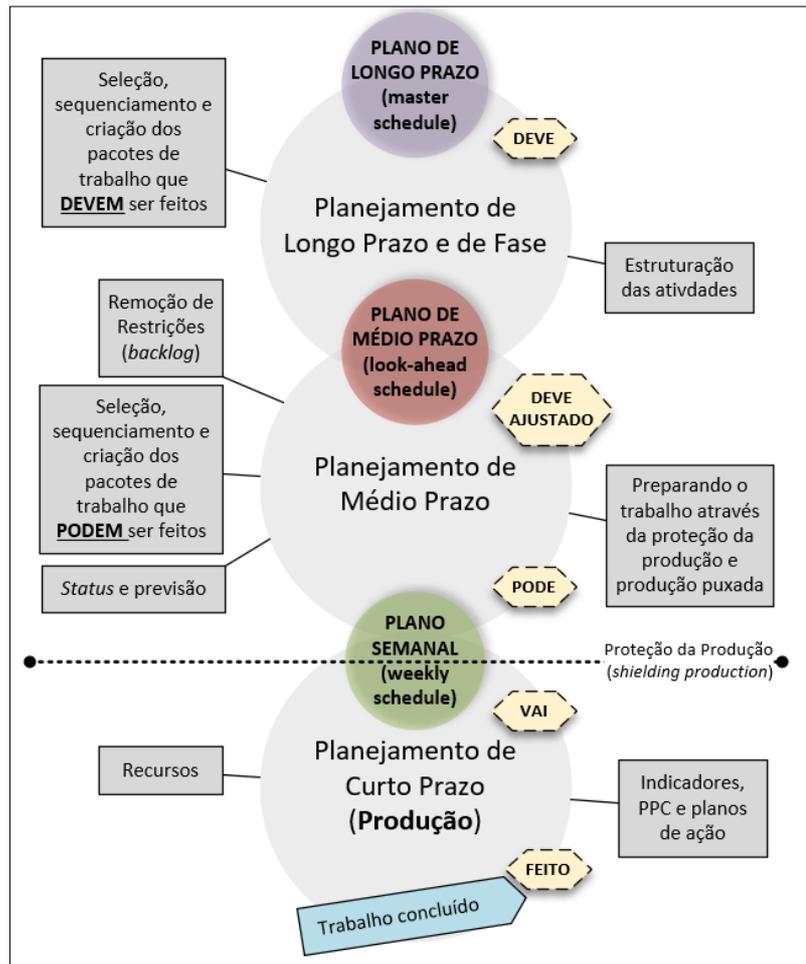
O *Last Planner System* adiciona alguns componentes ao controle de produção tradicional. Conforme demonstrado na Figura 6, o LPS pode ser entendido como uma ferramenta para transformar o que deve (*should*) ser feito em o que pode (*can*) ser realizado, formando assim um inventário de trabalho disponível, a partir do qual podem ser formados os Planos de Trabalho Semanais. A equipe que executará o serviço tem o compromisso de incluir atribuições e liberar restrições aos planos semanais nas atividades que eles realmente farão (*will*) (BALLARD, 2000).

Nesse sentido, para Ballard (1994), as atribuições definidas no sistema LPS são compromissos da equipe técnica, responsáveis pela execução das atividades e que determinam o que pode e será feito, com o resto da organização, que tem o papel de superar todas as restrições do que deve ser realizado.

Laufer e Tucker (1988) recomendam que os planos de longo prazo sejam preparados em menor grau e que o nível de informação varie inversamente ao horizonte de planejamento, ou seja, quanto mais próximo o momento de implementação, maior o detalhamento.

Portanto, Laufer e Tucker (1988) concluem que o grau de detalhe, o horizonte de planejamento e a frequência de atualização estejam subordinados aos níveis de gestão. A sincronia deve ser realizada para atender às circunstâncias ambientais, tecnológicas e organizacionais a fim de se chegar a um equilíbrio entre a eficiência do projeto e a eficácia do planejamento.

Figura 6 – O sistema *Last Planner*



Fonte: adaptado de Kenley e Seppänen (2006).

Contudo, é essencial no processo de PCP a existência de um plano de médio prazo. Em obras que não preparam este tipo de plano, torna-se difícil a identificação e remoção de restrições no ambiente produtivo e gerencial a tempo hábil de visualizar e corrigir as interferências ao fluxo de atividades, causando, por vezes, atrasos na sequência executiva. Além disso, a ausência do plano de médio prazo diminui a visibilidade de médio prazo referente às datas marco para aquisição de alguns tipos de materiais, como, por exemplo, louças e metais (BERNARDES, 2001).

2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO NA LOCALIZAÇÃO

Kenley e Seppänen (2006) agrupam os sistemas de gestão na construção em duas metodologias: planejamento baseado em atividades (*activity-based*) e Planejamento Baseado em Localização (*LBMS - Location-Based Management System for Construction*). Cada mecanismo atinge os mesmos objetivos de maneiras diferentes: CPM e linhas de balanço / fluxo, respectivamente.

A gestão baseada na localização pressupõe que há valor em dividir um projeto em partes (locais) menores e utilizá-los para planejar, analisar e controlar o fluxo de trabalho. O local fornece um pacote de dados do projeto em uma escala possível de ser monitorada e analisada. Por sua vez, o LBMS busca proteger a eficiência da produção conforme o trabalho avança pelos locais (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

Algumas características de projeto conferem um caráter ideal para aplicação do LBMS, podendo ser descritas como: múltiplos locais de trabalho; montagem no local e contínua de componentes (incluindo pré fabricação); obras complexas envolvendo atividades repetitivas, mas variáveis; fluxos paralelos e sequenciais; e o gerenciamento de recursos é um problema de otimização (uniformidade e continuidade) de fluxo (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

Segundo Kenley e Seppänen (2006), o planejamento e controle baseado na localização é um instrumento para alocar recursos, organizar a logística de recursos, monitorar o progresso, custo e qualidade do projeto. Outrossim, o LBMS busca relatar tudo isso progressivamente a tempo de tomar as ações de controle necessárias.

Ferramentas baseadas em localização podem ser usadas para mostrar visualmente o progresso em relação ao planejamento, calcular a previsão com base nas taxas de produção reais e para garantir uma produção estável pela rápida tomada de decisão (SEPPÄNEN, 2009).

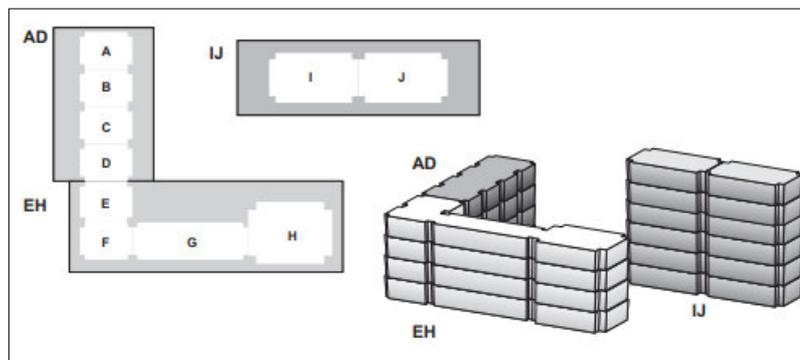
O LBMS considera as atividades em locais diferentes como parte da mesma tarefa. O conceito de fluxo é que demanda que os locais, com tarefas concluídas, fluam continuamente e liberem recursos para a próxima estação de trabalho. A produção puxada é considerada no nível de tarefa e não na atividade (SEPPÄNEN, 2009).

Kenley e Seppänen (2006) separam os locais em três níveis (alto, médio e baixo) com propósitos diferentes. O nível mais alto é utilizado para otimizar a

sequência de construção. Conforme ilustrado na Figura 7, as estruturas de tais seções são independentes umas das outras, podendo iniciá-las em qualquer sequência ou executá-las simultaneamente.

O nível intermediário tem o propósito de planejar o fluxo de produção da estrutura e, geralmente, refletem as restrições físicas. Os níveis mais baixos são usados para planos detalhados de tarefas. Este último deve ser pequeno, de modo que seja possível o monitoramento com precisão, como, por exemplo, a avaliação se determinado trabalho foi concluído ou não naquele local (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

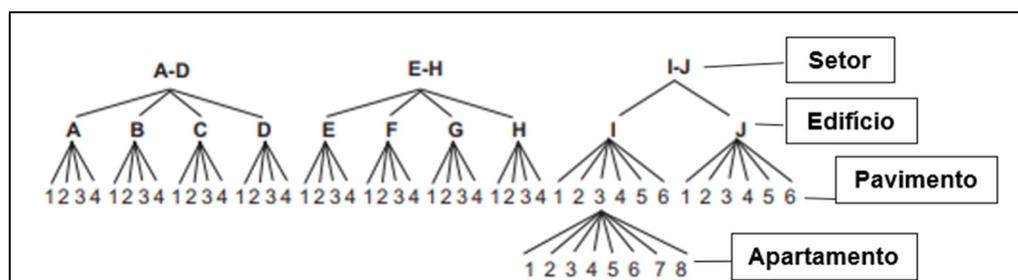
Figura 7 – Esquema de separação de níveis para o LBMS



Fonte: Kenley e Seppänen (2006).

As quantidades são partes integrantes de um sistema de gerenciamento baseado em localização. No processo tradicional, a extração de quantidades é feita no aspecto global do projeto. No entanto, a gestão baseada em localização requer que essas quantidades sejam estimadas com base na Estrutura de Divisão de Localização do Projeto (*LBS – Location Breakdown Structure*), ilustrada na Figura 8. Esses quantitativos são alocados para programar as atividades que estão explicitamente no escopo de trabalho daquelas operações (SEPPÄNEN, 2009).

Figura 8 – Estrutura de Divisão de Localização do Projeto



Fonte: Kenley e Seppänen (2006).

De acordo com Seppänen (2009), todas as metodologias de controle têm alguns bons componentes, mas possuem deficiências em outros. A Figura 9 compara e contrasta os pontos fortes e fracos do método LPS, CPM e os sistemas baseados em localização.

Figura 9 – Comparação entre métodos de controle

Método	Potencialidades	Pontos Fracos
Baseado em Atividade (CPM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mais utilizado 2. Força a gestão a repensar o restante do projeto por mês 3. A criticidade e variações produtivas são simples medidas de priorização 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Método de controle empurrado 2. Não considera requisitos e responsabilidades da produção 3. Caminho crítico muda constantemente durante a execução 4. Trata-se de um controle de projeto e não um sistema de controle da produção (PSP)
Last Planner (LPS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil compreensão 2. Promove a melhoria contínua 3. Eficácia comprovada (pesquisa-ação) 4. Controle proativo 5. Responsabilidades e requisitos de produção explícitos 6. Método de controle puxado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não considera explicitamente o fluxo de trabalho 2. Não força a sequência dos locais de produção 3. Sem ferramentas explícitas para dimensionar a capacidade produtiva 4. 2. Dificuldade em implementação quando o investigador não está no canteiro (PPC, indicadores)
Baseado em Localização (LBS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Produção, fluxo de trabalho e capacidade de recursos explícitos 2. Reação imediata à desvios 3. Eficácia comprovada (pesquisa-ação) 4. Planejamento de tarefas incorpora controle dos requisitos e planejamento proativo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Método de controle empurrado 2. Dificuldade em implementação quando o investigador não está no canteiro

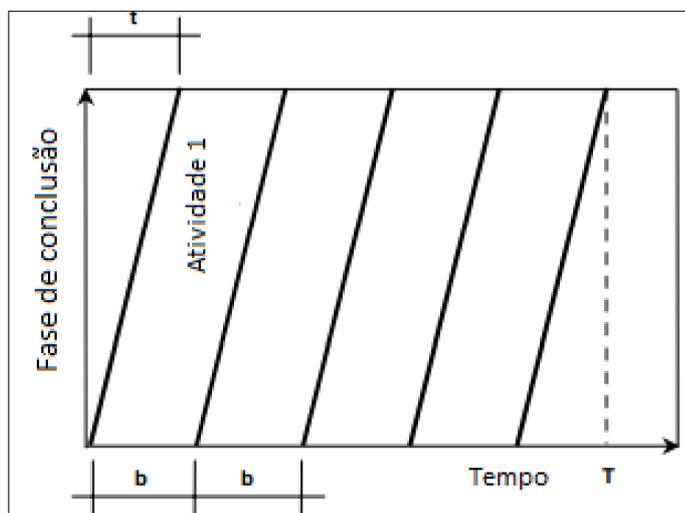
Fonte: adaptado de Seppänen (2009).

Para Seppänen (2009), enquanto o sistema LPS e os sistemas baseados em localização são considerados mecanismos de controle da produção, o método CPM é mais uma ferramenta de controle de projeto e ignora a produção. Embora o LPS seja eficaz e fácil de implementar, ignora o fluxo de trabalho e o fato de que a produção na construção ocorre em localizações. Nesse sentido, Seppänen (2009) recomenda um mecanismo híbrido que combine os pontos fortes do LPS com os benefícios de sistemas baseados em localização.

No fluxo de montagem, a estrutura do edifício passa por diferentes fases de execução. Conforme ilustrado na Figura 10, este tipo de situação de produção é tratado pela linha de balanço (KOSKELA, 2000). Na linha de balanço, o tempo é plotado no eixo horizontal e as unidades de trabalho são identificadas pelo eixo

vertical. O gráfico resultante mostra linhas inclinadas que representam a taxa de produção de uma atividade (DAVE, 2013).

Figura 10 – Formação da duração de obra



Fonte: adaptado de Koskela (2000).

Dessa forma, a linha de balanço depende da relação entre a quantidade de unidades entregue e a taxa de produção da unidade. Isso é considerado uma relação linear, portanto, tem-se ênfase na produção repetitiva. Na construção, a unidade de produção é um local, como, por exemplo, uma casa, cômodo ou pavimento (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

O planejamento de médio prazo conjuntamente aos ritmos das equipes da produção, é um potencial recurso para analisar o fluxo na busca da sincronização. A fim de reduzir o tempo de ciclo, o planejamento pode abordar a implementação a divisão dos trabalhos em tarefas ou pacotes de trabalho. Assim, busca-se estabelecer o pagamento das tarefas por elemento ou etapa concluída e não por unidade de medição, como a metragem quadrada. Em virtude disso, busca-se minorar a ocorrência de retrabalho ou baixa qualidade (BERNARDES, 2001).

Em nível de curto prazo, as ações destinadas à proteção da produção (*shielding production*) possibilitam a continuidade das operações no canteiro, diminuindo as incertezas e seu consequente tempo de ciclo (BERNARDES, 2001). É possível adicionar um maior nível de detalhes ao LBS durante a implementação, dividindo as estações de trabalho existentes em sublocais menores, especialmente quando a estrutura de divisão não pode ser conhecida com antecedência (SEPPÄNEN, 2009).

Nesse sentido, atividades diferentes podem ter taxas de produção distintas. Assim, é tarefa do planejador alocar recursos para equilibrar a produção, promovendo o balanceamento das operações e o objetivo da linha de balanço, que é minimizar a diferença entre as taxas das atividades para reduzir a duração geral da programação (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006).

2.4 CONTROLE DE PRODUÇÃO EM PROJETOS ENGINEER-TO-ORDER

O canteiro de obras é uma combinação de fabricação e montagem. As iniciativas de industrialização defendem a simplificação da fabricação no local a fim de deslocar o máximo de trabalho possível para as condições controladas de uma indústria (BALLARD, 1998).

De acordo com Sari⁷ (1981 *apud* Bertrand e Mutslag, 1993, p. 3), a natureza do sistema de controle de produção depende fortemente do ambiente de produção a ser controlada. A distinção se baseia principalmente pela característica dos pedidos dos clientes e no papel que eles desempenham no processo de produção. O autor faz uma diferenciação entre:

- a) produção para estoque (*make-to-stock*): conversão de entidades em itens finais por antecipação aos pedidos dos Clientes;
- b) montagem sob encomenda (*assemble-to-order*): conversão de entidades em itens em um nível de fabricação pré-estabelecido para configuração no recebimento de um pedido do Cliente;
- c) produção sob encomenda (*make-to-order*): obtém muito poucos ou nenhum item até o recebimento de um pedido do Cliente;
- d) engenharia sob encomenda (*ETO - engineer-to-order*): sabe-se muito pouco sobre o que fabricar até o recebimento do pedido do Cliente e o desenvolvimento das especificações de engenharia.

Nas duas últimas situações, todas as atividades de produção são direcionadas aos pedidos dos Clientes. Além disso, nos projetos *engineer-to-order* as atividades de engenharia e projeto fazem parte do tempo de execução do pedido do Cliente. Isso significa que o fluxo de informações também estão sujeito ao controle da produção (BERTRAND; MUTSLAG, 1993).

⁷ Sari, J.F. The Master Production Schedule and the Bill-Of-Material go Hand-in-Hand. 1981.

Koskela (1992) enfatiza que a aplicação da filosofia enxuta é menos problemática nesta parte da indústria da construção. Por se tratar de um ambiente controlado, as técnicas de gestão enxutas podem ser implementadas mais facilmente em fábricas que entregam componentes industrializados aos canteiros de obras. Por outro lado, com a adoção de projetos *engineer-to-order* (ETO), o processo de construção tende a tornar-se mais complexo a partir da necessidade de gerenciar dois locais de produção: fábrica e canteiro de obras (KOSKELA, 1992).

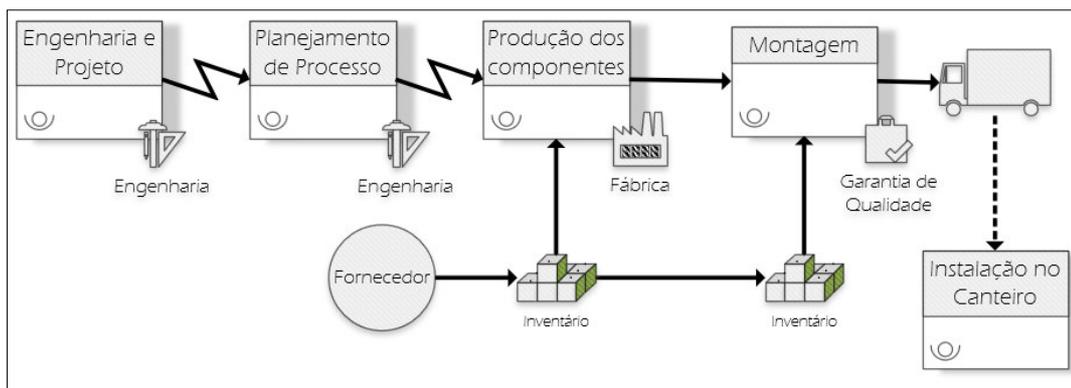
Nesse sentido, destaca-se o papel da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) na gestão do fluxo de informações em sistemas de produção do tipo ETO. Devido a necessidade de customização, é necessário rastrear cada peça individualmente, de modo a permitir o seu apontamento entre as etapas de produção, expedição e montagem (ERGEN; AKINCI, 2008). A transparência entre os processos internos de fabricação e em canteiro torna o planejamento de curto prazo mais preciso, resultando na redução de prazos e na menor exigência de estoques de componentes (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014).

Desse modo, dois princípios da LC são particularmente relevantes para o gerenciamento de sistemas de construção ETO: produção puxada e redução da variabilidade, usando estratégias de proteção da produção e padronização de atividades (BATAGLIN *et al.*, 2020). Nesse sentido, Slack, Chambers e Johnston (2002) propõe a padronização e modularização de *inputs* para uma operação a fim de reduzir sua complexidade e, portanto, seus custos.

Conforme ilustrado na Figura 11, cada pedido do Cliente pode ser considerado como um projeto com uma rede de atividades parcialmente sobrepostas, como engenharia e projeto, fabricação de componentes, montagem e instalação (BERTRAND; MUTSLAG, 1993).

Os mesmos autores apontam dois estágios principais no fluxo de mercadorias a ser controlado, sendo uma etapa não física e outra etapa física. O estágio não físico consiste nas atividades de engenharia, cotação, projeto e planejamento do processo. A fase física diz respeito à fabricação, montagem e instalação. A capacidade de fabricação de componentes internamente é limitada devido às flutuações de volume na demanda.

Figura 11 – Fluxo de projetos engineer-to-order



Fonte: adaptado de Bertrand e Mutsлаг (1993).

Fundamentalmente, os projetos ETO são estruturados por processos empurrados. O que distingue um processo empurrado (*push*) de um processo puxado (*pull*) é o mecanismo que aciona o movimento de trabalho. Enquanto em um processo empurrado o gatilho para liberações de trabalho é ativado externamente ao processo com base na demanda, em um processo puxado o *status* do sistema é que determina a liberação de trabalho (HOPP; SPEARMAN, 2001).

Porém, de acordo com Hopp e Spearman (2001), a maioria dos sistemas produtivos são híbridos, ou seja, misturas de processos empurrados e puxados. Nesse sentido, é possível definir uma interface ao longo do processo que permita tirar vantagem estratégica dos benefícios de puxar, ao mesmo tempo que mantém o foco voltando para as demandas empurradas do Cliente.

No entanto, a industrialização trata apenas parcialmente os problemas de gestão da produção, uma vez que não aborda o aspecto do gerenciamento da informação na construção. Alguns dos problemas são abordados nos métodos ágeis de gestão, como o *Scrum*⁸ e Pacotes de Trabalho Avançados (AWP - *Advanced Work Packaging*); e pela Modelagem da Informação da Construção (BIM – *Building Information Modeling*). Estes dois últimos são discutidos nas próximas seções.

⁸ O *Scrum* surgiu como alternativa para gestão de projetos de *software*, caracterizados por alto grau de incerteza, tanto em requisitos quanto em tecnologia (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

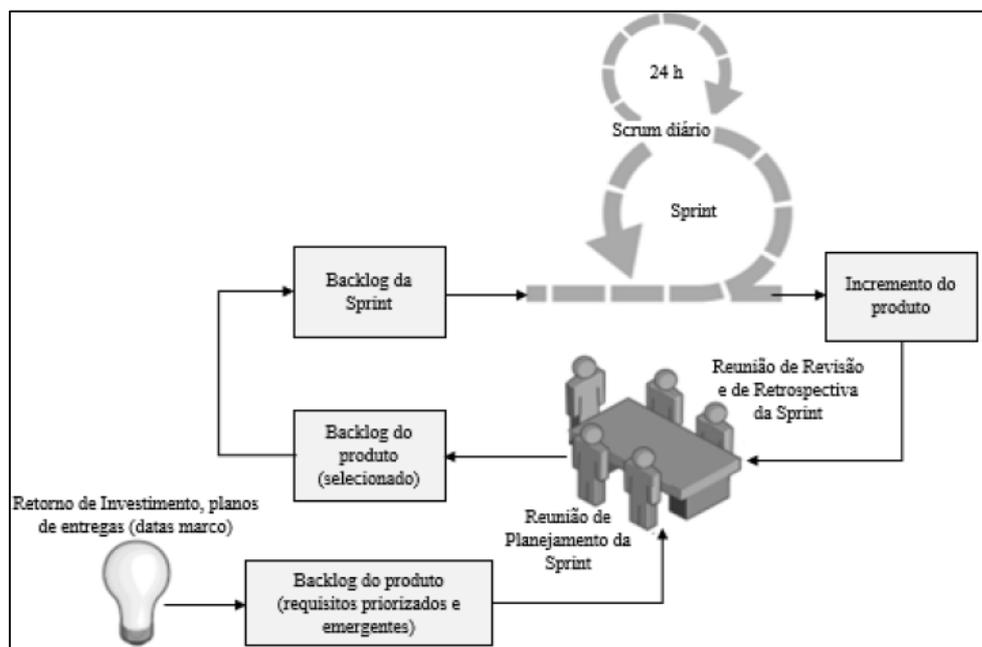
2.5 A FERRAMENTA SCRUM COMO MÉTODO ÁGIL DE GESTÃO

O *Scrum*⁹ é um método ágil de gestão de empreendimentos complexos que oferece uma estrutura e um conjunto de práticas que permitem às equipes visualizar o que está acontecendo durante o desenvolvimento do projeto e, caso necessário, realizar as correções para alcançar os objetivos pretendidos (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

A estrutura do *Scrum* é dividida em papéis (Dono do Produto, Equipe de Desenvolvimento e Gestor do *Scrum*), artefatos (*Backlog* do Produto, *Backlog* da *Sprint* e Incremento) e eventos (*Sprint*, Planejamento da *Sprint*, *Scrum* diário, Revisão da *Sprint* e Retrospectiva da *Sprint*) (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

Uma visão geral do processo é apresentada na Figura 12. O Dono do Produto (*Product Owner*) é a pessoa responsável por traduzir a visão geral dos requisitos do usuário em uma lista geral de requisitos do produto a ser desenvolvido. Esta lista é denominada de *Backlog* do Produto (*Product Backlog*), cujo objetivo é garantir que a funcionalidade mais importante do produto seja construída primeiro (SCHWABER, 2004).

Figura 12 – Visão geral do processo do *Scrum*



Fonte: Schwaber (2004)

⁹ O *Scrum* surgiu como alternativa para gestão de projetos de *software*, caracterizados por alto grau de incerteza, tanto em requisitos quanto em tecnologia (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

De acordo com Schwaber (2004), o conteúdo, as prioridades e a organização do *Backlog* do Produto em pacotes de entrega geralmente mudam ao longo do empreendimento. Assim, o *Backlog* do Produto é dinâmico, pois evolui juntamente com a construção do produto, sendo conduzido pelo Gestor do *Scrum*.

Para o mesmo autor, todas as atividades no *Scrum* são desenvolvidas em *Sprints*. Uma *Sprint* é uma iteração de 30 dias durante a qual os requisitos priorizados e selecionados do *Backlog* são transformados em um incremento ou funcionalidade. Uma nova *Sprint* inicia após a conclusão da *Sprint* anterior.

A Equipe de Desenvolvimento realiza todos os dias a Reunião Diária de *Scrum* (*Daily Scrum*). Este evento, com duração média de quinze minutos, tem por finalidade organizar de maneira colaborativa o trabalho da equipe, controlando e adaptando os esforços do empreendimento para atender os objetivos estabelecidos para a *Sprint* (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

Todos os eventos realizados com as equipes são pautados pela multifuncionalidade e auto-organização dos participantes. Apesar do *Scrum* ter alguns elementos definidos, como a reunião de Planejamento da *Sprint* e *Scrum* diário, as melhorias podem ser adotadas a qualquer momento ao longo do desenvolvimento do projeto (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020).

2.6 PACOTES DE TRABALHO AVANÇADOS (AWP)

Os projetos de construção consistem em redes complexas de componentes e recursos que compartilham várias interfaces. Elementos que pertencem a diferentes conjuntos construtivos, como os sistemas estruturais ou mecânicos, geralmente são fisicamente conectados. Isso faz com que a execução desses sistemas seja interdependente e exija uma coordenação precisa (ISAAC; CURRELI; STOLIAR, 2017). O desafio de gerenciar tais interfaces aumenta devido ao fato de que uma parte significativa do trabalho em projetos de construção geralmente é realizada por subempreiteiros (ISAAC; CURRELI; STOLIAR, 2017).

No entanto, os subcontratados muitas vezes procuram otimizar a alocação de seus recursos entre vários projetos que executam simultaneamente e estão menos preocupados com o efeito que suas atividades têm sobre outros subcontratados no mesmo projeto. As interfaces entre as atividades que são realizadas simultânea ou sucessivamente por diferentes subempreiteiros podem, portanto, criar uma grande

carga de gestão para os empreiteiros gerais, que têm que investir recursos significativos no controle e processos de supervisão (VILASINI *et al.*, 2012).

Assim, a base para um planejamento e gerenciamento na interface entre engenharia, suprimentos e construção é o processo de empacotamento de trabalho, através dos Pacotes de Trabalho Avançados (AWP). Com a abordagem AWP, divide-se os processos de construção em pacotes de trabalho gerenciáveis que são frequentemente executados por diferentes subcontratados (ISAAC; CURRELI; STOLIAR, 2017).

O *Construction Industry Institute* (CII) (2021) define AWP como um método de entrega de projetos para melhorar o fluxo geral do processo de todos os pacotes de trabalho detalhados (engenharia, suprimentos e instalação). É uma estrutura planejada e aplicável desde o planejamento inicial até os planos detalhados de instalação (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII), 2021).

O AWP tem sua origem no *Workface Planning*¹⁰ (WFP), método destinado a cobrir o escopo do planejamento de execução através da engenharia detalhada, de modo a organizar e entregar todos os elementos necessários para desenvolver um pacote de trabalho completo antes que as atividades sejam iniciadas (HAMDI, 2013).

Para Hamdi (2013), o AWP é um conjunto mais completo de práticas de empacotamento de trabalho do que o WFP. Abrange não apenas a construção, mas também os estágios iniciais do projeto e adiciona ao sistema mais controle sobre o detalhamento do projeto ao longo de seu ciclo de vida. Este processo de alinhar a engenharia, suprimentos e instalação é realizado através do Caminho da Construção (PoC – *Path of Construction*) (CII), 2021).

De acordo com CII (2021), o PoC é o sequenciamento estratégico de atividades de execução da construção e comissionamento. O PoC identifica a abordagem da construção para a entrega do projeto e como as entregas de engenharia e suprimentos apoiarão o sequenciamento da construção através das Áreas de Trabalho de Construção (CWA - *Construction Work Areas*).

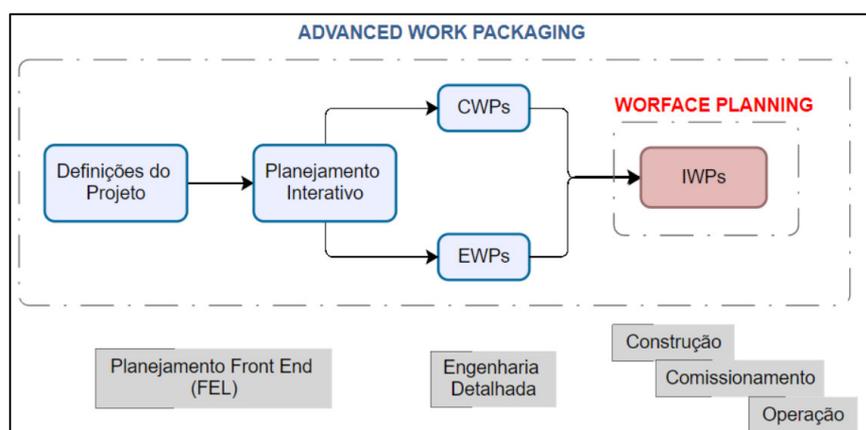
Conforme CII (2021), a CWA pode ser definida como uma representação multidisciplinar específica de cada local de unidade de um determinado processo, configurando assim todas as principais áreas do canteiro.

¹⁰ Em 2011, o CII desenvolveu o AWP, a partir do WFP e outras práticas de empacotamento adotadas pela indústria (HAMDI, 2013). WFP, em uma tradução livre, entende-se como Planejamento das Frentes de Trabalho.

Conforme Figura 13, os itens mencionados dentro das caixas tracejadas são os principais resultados do projeto durante o ciclo de vida em fases avançadas. CWPs, EWPs e IWPs são respectivamente siglas para Pacotes de Trabalho de Construção (*Construction Work Packages*), Pacotes de Trabalho de Engenharia (*Engineering Work Packages*) e Pacotes de Trabalho de Instalação (*Installation Work Packages*).

Segundo CII (2021), o planejamento de projeto interativo indicado na figura pode ser estabelecido através de: um estágio preliminar, contendo a definição das CWAs, CWPs, EWPs e da PoC; um estágio de engenharia detalhada no qual são criadas as CWPs e EWPs, e opcionalmente os Pacotes de Trabalho de Suprimentos (PWP); o estágio da efetivação da execução da construção com a aplicação dos IWPs; e, por fim, a fase de comissionamento, melhorando a visibilidade das conclusões do projeto e testes.

Figura 13 – Modelo do *Advanced Work Packaging*



Fonte: adaptado de Hamdi (2013).

Conforme Figura 14, o planejamento interativo tem como premissa o padrão de que cada EWP seja igual ao respectivo PWP e CWP. O alinhamento desse processo também exige que os pacotes de trabalho sejam entregues como pacotes completos, não por componentes individuais. Isso significa que as atividades são executadas em série entre si, com um relacionamento de término para início.

Figura 14 – Cronograma de entregas dos pacotes

Install Heat Exchangers: EWP Release Plan												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Piles	EWP	P	CWP									
Concrete		EWP	P	CWP								
Steel		EWP	P	CWP								
Pipe		EWP	P	CWP								
E & I			EWP	P	CWP							
Heat Trace					EWP	P	CWP					
Insulation								EWP	P	CWP		

Fonte: (INSIGHT AWP, 2014).

De acordo com Hamdi (2013), os pacotes avançados são caracterizados como:

- Pacotes de Trabalho de Engenharia (EWP): é uma entrega de engenharia e suprimentos, que deve estar alinhado com a sequência e as prioridades de construção (HAMDI, 2013).
- Pacotes de Trabalho de Construção (CWP): define uma divisão lógica e gerenciável de trabalho dentro do escopo de construção. O CWP está alinhado com o plano de execução do projeto e WBS¹¹. Os CWPs devem ser mensuráveis e alinhados com os controles do projeto, sendo a base para o desenvolvimento de pacotes de trabalho de instalação detalhados. Os CWPs podem conter um ou mais EWPs;
- Pacotes de Trabalho de Instalação (IWP): é a entrega para uma equipe de obra que permite com que esta execute uma atividade com qualidade, de maneira segura, previsível, mensurável e eficiente. O IWP possui um escopo gerenciável e limitado, de modo que a equipe conclua o trabalho em cerca de uma semana.

Isaac, Curreli, Stoliar (2017) definem três estratégias que podem ser usadas para melhorar o pacote de trabalho inicial: análise do fluxo de trabalho; agrupamento de acordo com recursos semelhantes; e pré-fabricação.

Conforme Isaac, Curreli, Stoliar (2017), além de explorar o possível agrupamento de componentes em um único pacote de trabalho, a análise de fluxo de trabalho é usada para identificar componentes cuja instalação deve ser dividida em

¹¹ *Work Breakdown Structure* (WBS), ou Estrutura Analítica de Projeto (EAP), é uma representação hierárquica de um projeto com seus componentes sendo organizados em detalhes cada vez maiores.

vários pacotes de trabalho, para evitar que tenham um escopo excessivo. Por exemplo, quando o trabalho inclui a instalação de componentes verticais, como um duto HVAC que atravessa vários andares, o projetista pode considerar dividir o duto em várias seções no modelo BIM, para que cada seção seja instalada em um pacote de trabalho separado depois que a estrutura daquele pavimento for concluída.

Nesse sentido, quaisquer informações, ferramentas, materiais, equipamentos, dificuldades de movimentação ou outros que impeçam ou atrasem a execução segura e adequada do trabalho em sua totalidade podem ser mapeadas através do gerenciamento de restrições (CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII), 2021).

Para o CII (2021), o gerenciamento de restrições, bem como o empacotamento do trabalho, pode ser usado pelos gestores a fim de eliminar ou diminuir as incertezas da execução das tarefas, definindo de forma precisa o escopo do trabalho envolvido e garantindo que todos os recursos necessários para a execução estejam disponíveis. Isso confere um grau muito maior de conclusão do trabalho no tempo previsto.

Ademais, o CII (2021) expõe como benefícios do gerenciamento de restrições: o alinhamento em torno das prioridades, visibilidade das informações, capacidade de realizar o trabalho de forma produtiva, identificação e mitigação de problemas de projeto e canteiros de obras mais limpos e organizados.

Como o pacote de trabalho é realizado na fase inicial do planejamento do projeto, as informações diretamente disponíveis são limitadas. No entanto, de acordo com Isaac, Curreli, Stoliar (2017), uma análise de dados fornecida pelo modelo BIM, como será demonstrado na seção seguinte, pode ser utilizada para levar em conta as interfaces entre engenharia, suprimentos e construção, permitindo ao gerente do projeto identificar mais facilmente as soluções alternativas de empacotamento de trabalho.

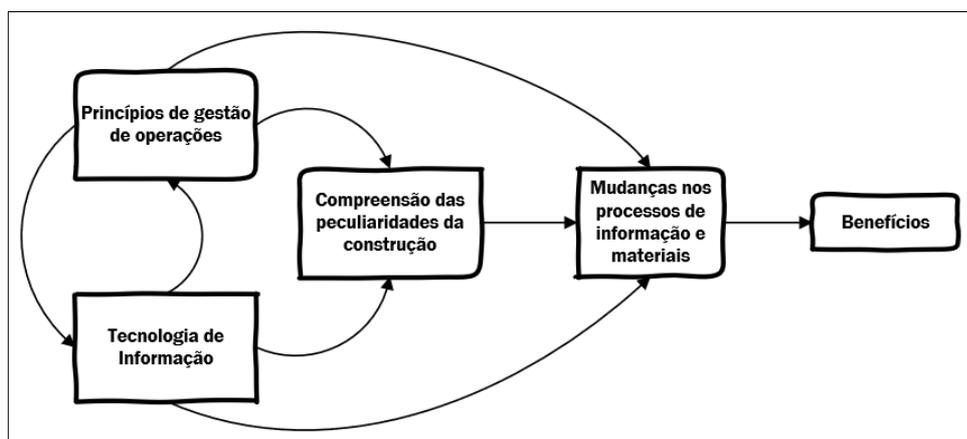
2.7 MODELAGEM E GESTÃO VISUAL DA INFORMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Nos últimos anos, o BIM vem sendo utilizado em sincronia com a *Lean Construction* no que se refere ao seu propósito de aumentar a produtividade, eficiência e reduzir o desperdício. Porém, desde o advento das tecnologias CAD na metade do século passado, a produtividade não teve melhores desempenhos (HARDIN; MCCOOL, 2015).

No que se refere as tecnologias da informação na construção, a sua subutilização não é devida a uma deficiência na tecnologia e suas aplicações, mas na compreensão deficiente da construção. A utilização de tecnologias na construção não fornece qualitativamente qualquer coisa nova do ponto de vista teórico de análise de sistemas de produção, somente quando pode contribuir para a realização dos princípios da produção (KOSKELA, 2000).

A integração de tecnologias digitais é um importante objeto de desenvolvimento na indústria da construção. As Tecnologias de Informação na Construção (TIC) podem beneficiar a melhoria dos processos em dois caminhos, representado na Figura 15. Primeiramente, a TIC pode ser utilizada para automatizar conversões específicas, levando a redução da variabilidade, tempos de ciclo e promover a transparência. Além disso, a tecnologia da informação pode permitir o redesenho de processos, levando a simplificação destes (KOSKELA, 1992).

Figura 15 –Gestão de operações, peculiaridades da construção e TIC



Fonte: adaptado de Koskela (2000)

Embora as TICs não resolvam por si só todos os problemas de projetos, a sua aplicação pode propiciar a diminuição do tempo dispendido para a preparação e controle dos planos. Bernardes (2001) cita a automatização de atividades repetitivas, uma melhor organização dos dados e facilidade na elaboração dos planos e relatórios de controle como potenciais benefícios.

No sentido de harmonizar a capacitação dos processos através do uso de TIC, deve-se abordar a produção como um todo, atender ao fluxo e valorizar os sistemas que interajam. As chamadas “ilhas de automação”, o que significa ter mecanismos disjuntos dentro de uma organização, devem ser evitadas (DAVE, 2013).

2.7.1 Desenvolvimento Interativo de Produto e Serviço

O ato de fundir o projeto de produto e o projeto de processo que os produz é chamado projeto interativo. Os benefícios de sua aplicação residem na redução do tempo de projeto, desde a concepção até sua operação. A abordagem do desenvolvimento simultâneo de várias etapas no processo global pode reduzir significativamente esse tempo (*TTM - time to Market*) (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Nesta visão, a transformação é o único estágio do projeto que agrega valor e, normalmente, verifica-se que sua participação no tempo de fluxo total é muito pequena. Assim, as melhorias em projeto devem buscar eliminar os desperdícios em espera, movimentação e revisão e reduzir o tempo de transformação (KOSKELA, 2007).

O projeto do produto compreende todas as fases em que as características funcionais de um produto são determinadas. Neste ciclo, pelo menos três problemas podem surgir: a captura de requisitos não é precisa; os requisitos se perdem ou não são utilizados; e a interpretação não é a ideal. A solução para estas dificuldades passa pela necessidade de rigorosas análises de requisitos no início do projeto e estreita cooperação com o(s) Cliente(s) (KOSKELA, 2007).

Koskela (2007) argumenta que o conceito de TFV fornece uma base para o projeto da mesma forma que para a produção. Na visão de transformação, busca-se eliminar desperdícios dos processos de projeto. Na perspectiva de fluxo, o impulso básico é promover práticas como redução de retrabalho, abordagem colaborativa e liberação de informações para tarefas subsequentes em lotes menores.

Para o mesmo autor, em se tratando de geração de valor, o objetivo principal é alcançar o melhor valor possível para as soluções de projeto do ponto de vista do Cliente. Estas conceitualizações levam diretamente ao que se denomina Engenharia Simultânea (CE - *Concurrent Engineering*).

A engenharia simultânea trata principalmente da fase de projeto de produto. O termo se refere ao processo de projeto caracterizado por uma análise rigorosa de requisitos do Cliente, incorporando as restrições nas fases subsequentes e aumentando gradualmente o controle de alterações até o final do processo de projeto (KOSKELA, 1992).

Um fluxo de informações de projeto estáveis, em pequenos lotes, com transações frequentes, reduzido trabalho em progresso e menor ocorrência de inconsistências nos modelos, desenhos ou outros documentos, levam a um projeto com informações de maior qualidade. Apesar de não ser preditivo, o grau em que os projetos variam em termos de planos de orçamento e cronograma está correlacionado com a instabilidade dos fluxos (TRIBELSKY; SACKS, 2011).

2.7.2 Modelagem da Informação na Construção (BIM)

Enquanto a construção enxuta aborda algumas das dificuldades relacionadas aos processos e gestão da produção de projetos de construção, a Modelagem da Informação da Construção trata dos problemas centrais relacionados à modelagem e visualização do produto e de processo. Além disso, o BIM tem potencial para atuar como plataforma central de gerenciamento de informações (DAVE, 2013).

Eastman *et al.* (2014) configuram o BIM como uma tecnologia capaz de construir um modelo virtual preciso de uma edificação de forma digital. Quando finalizado, o modelo gerado contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte a realização da construção.

O BIM trata-se de como criar, manter e usar informações e dados, de forma integrada e eficiente, por todas as partes interessadas ao longo do ciclo de vida da obra. Isso inclui desde os estudos de viabilidade, concepção, projeto, aquisição, fabricação, construção, entrega, operação, manutenção e reforma e até uma eventual demolição (DAVE, 2013; EYNON, 2016).

Portanto, o BIM permite que os participantes do projeto explorem o que será construído por meio de um modelo digital, onde é muito mais vantajoso fazer mudanças do que em campo, durante a execução, onde as alterações são exponencialmente mais dispendiosas (HARDIN; MCCOOL, 2015).

A tecnologia BIM pode dar suporte e propor muitas práticas no setor em todas as etapas dos projetos de construção (EASTMAN *et al.*, 2014). Em termos de projeto e detalhamento de produto e fase de construção apresentam-se inúmeras vantagens:

- a) visualização antecipada e mais precisa do projeto: com os modelos geométricos é possível visualizar, em qualquer estágio, o projeto com precisão (EASTMAN *et al.*, 2014). Nos estágios iniciais, especialmente, é

possível capturar as intenções do projeto com o Cliente e comunicar as partes interessadas (DAVE, 2013);

- b) coordenação e colaboração antecipada entre diferentes disciplinas de projeto: o BIM facilita o trabalho simultâneo de múltiplas equipes de projeto, nos quais o controle de modificações pode ser bem gerenciado (EASTMAN *et al.*, 2014);
- c) sincronização de projeto e planejamento da construção: o planejamento da obra usando BIM 4D requer uma vinculação do cronograma aos objetos 3D do modelo, sendo possível simular o processo de construção em qualquer ponto no tempo (EASTMAN *et al.*, 2014). Quando as informações de custo e quantidade estão vinculadas ao projeto, esse modelo é chamado de BIM 5D (DAVE, 2013);
- d) detecção de interferências: as disciplinas modeladas podem ser vinculadas e comparadas para que os conflitos sejam identificados antes no ambiente virtual do que na obra (EASTMAN *et al.*, 2014). Isso garante que esses problemas não atrasem o processo de construção ou que minimizem o retrabalho (DAVE, 2013);
- e) uso do modelo como base para componentes fabricados: uma vez que um modelo BIM contém informações de componentes paramétricos, este pode ser utilizado por fabricantes para construir seus produtos, sendo uma grande oportunidade de troca de informações entre os dois. Tal automação tem sido utilizada na fabricação de peças em aço e componentes pré moldados (EASTMAN *et al.*, 2014).
- f) melhor implementação e técnicas de construção enxuta: dado o caráter de precisão conferido ao modelo do projeto, o BIM proporciona a aplicação das técnicas de construção enxuta. O BIM funciona como um artefato para melhoria no planejamento entre a construtora e os subempreiteiros, garantindo que o trabalho possa ser realizado quando os recursos apropriados estejam disponíveis no canteiro (EASTMAN *et al.*, 2014).

De acordo com Eastman et al. (2014), um ótimo modelo da edificação deve fornecer aos construtores os seguintes tipos de informação: informações detalhadas da edificação, componentes temporários, especificações associadas a cada componente do edifício, dados de análise acerca dos níveis de desempenho e exigências do projeto e relatório do estágio de projeto e construção.

Dado a complexidade de se representar as informações relativas a todo esse processo, o modelo virtual da edificação precisa ser atualizado constantemente, à medida que o projeto amadurece (EASTMAN *et al.*, 2014). A fim de direcionar a modelagem para determinados usos e fases de um projeto, foram estabelecidos níveis de modelagem virtual, comumente referidos como Níveis de Desenvolvimento (*LOD – Level of Development*) (HARDIN; MCCOOL, 2015).

O LOD define a evolução do modelo. Quando utilizado corretamente, o modelo se adapta, torna-se mais útil e inteligente e é capaz de contribuir por mais tempo no processo de construção. Sua utilização é atribuída à cinco usos fundamentais: coordenação, planejamento de cronograma, vínculo entre projeto e orçamento, operação (*FM – facilities management*) e modelo para análises (HARDIN; MCCOOL, 2015).

Ao que pese o impacto da qualidade do LOD em um processo de projeto, isso levanta um desafio de como produzir informações de projeto em lotes menores vinculados ao progresso da produção. A incerteza ocasionada pela falta de informações em modelos ou, por outro lado, a disposição de um LOD maior que o necessário, representam desperdícios do ponto de vista do fluxo do projeto (UUSITALO *et al.*, 2020).

Diante disso, Eastman *et al.* (2014) destaca que, apesar dos modelos de construção fornecerem informações adequadas, eles não substituem a tarefa dos especialistas. Um modelo da informação da construção detalhado é uma ferramenta para mitigar riscos, porque reduz a incerteza associada aos métodos tradicionais.

2.7.3 Uso da Modelagem BIM 4D para Planejamento da Produção

A programação é uma tarefa manual intensa, e às vezes permanece fora de sincronia com o projeto, criando dificuldades para que as equipes entendam o processo produtivo e seu impacto na logística do canteiro. Especificamente, os modelos BIM evoluíram para tratar dessas deficiências, através dos modelos 4D, para dar suporte ao planejamento da construção (EASTMAN *et al.*, 2014).

De acordo com Eastman *et al.* (2014), os modelos BIM 4D funcionam principalmente como ferramentas de comunicação para revelar potenciais gargalos e como um mecanismo para melhorar o desempenho da colaboração.

O projeto envolve a tomada de decisões antes de o produto, serviço ou processo real ser criado. Para aumentar a confiança nas decisões, os gerentes podem ter ideias e explorar cenários por meio da simulação formalizada envolvida no uso de modelos de simulação. Em vez de aconselhar diretamente nas soluções de projeto, a simulação explora as consequências da tomada de decisão – é uma técnica preditiva antes mesmo de otimizadora (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002).

Simulações para construção podem assumir muitas formas e mostrar diferentes qualidades e quantidades de informação. A fim de ilustrar a sequência de construção de uma obra, utiliza-se, por exemplo, ferramentas como *Autodesk Navisworks*, *Synchro* e *Vico Office* para mostrar a combinação de elementos do modelo sendo executados sobre o cronograma. Essa vinculação é referida como BIM 4D ou simulações de cronograma (HARDIN; MCCOOL, 2015).

Segundo Hardin e McCool (2015), o rigor dessas simulações podem variar. Alguns modelos de planejamento podem ter função somente conceitual da construção, enquanto outros estão diretamente ligados a informações complexas de cronograma. Entretanto, é importante a prévia definição do objetivo do emprego do BIM 4D tão logo o modelo seja iniciado (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015).

Schramm e Formoso (2015) indicam que níveis de detalhamentos¹² dos modelos mais simplificados permitem demonstrar os efeitos da aplicação de conceitos de gestão da produção mais diretamente. Por outro lado, modelos mais detalhados permitem avaliar os efeitos sistêmicos das decisões simuladas, possibilitando a comparação dos efeitos dessas mudanças com as experiências práticas dos envolvidos, aumentando a credibilidade do modelo.

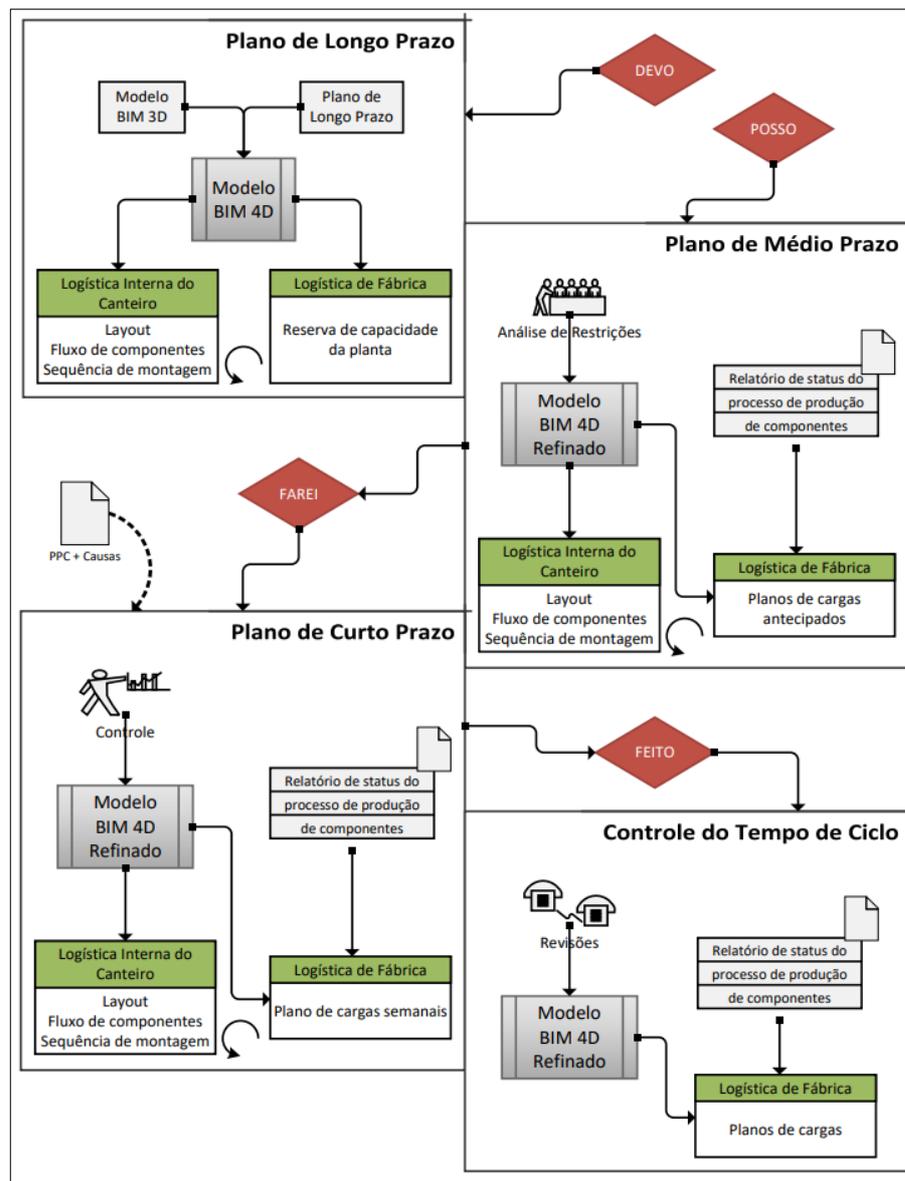
Conforme Figura 16, os modelos BIM 4D são produzidos em diferentes níveis de planejamento (longo, médio ou curto prazo), sendo gradualmente mais detalhados à medida que mais informações se tornem disponíveis. Por esse motivo, modelos BIM 4D devem ser detalhados gradualmente e, se necessário, mudanças podem ser feitas com informações do canteiro (BATAGLIN *et al.*, 2020).

O modelo proposto por Bataglin *et al.* (2020) adota algumas ideias centrais do LPS, como planejamento hierárquico e colaborativo. No entanto, relaciona um quarto nível, em uma base diária, ligado ao tempo do ciclo do processo. Operações de

¹² Em função do elevado tempo de desenvolvimento dos modelos, os autores propõem o emprego de duas estratégias: a construção de componentes genéricos e a reutilização dos próprios modelos de simulação.

logística de componentes industrializados possuem incertezas inerentes às características do processo. Portanto, o uso do modelo, para o plano de longo prazo, é destinado para reservar a capacidade das fábricas para o projeto, em vez de disparar a produção de componentes (BATAGLIN *et al.*, 2020).

Figura 16 – BIM 4D para o planejamento e controle de sistemas construtivos ETO



Fonte: adaptado de Bataglin *et al.* (2020).

No que se refere aos componentes temporários, Eastman *et al.* (2014) cita a modelagem dos objetos que representam equipamentos, fôrmas e outros itens temporais que são essenciais para planejar a sequência de execução do empreendimento. A fim de identificar restrições no médio prazo, estes itens consistem numa excelente oportunidade de serem considerados (ETGES *et al.*, 2020).

Para Bataglin *et al.* (2018), o BIM 4D também tem papel fundamental em ambientes de projeto ETO, no qual o nível de incerteza é alto. O uso das informações da modelagem BIM 4D combinadas com as informações da fabricação possibilitam analisar o *status* do sistema, contribuindo para a integração de duas unidades de produção, a fábrica e a obra.

Dessa forma, a modelagem 4D deve ser desenvolvida de modo a contribuir para a criação de um ambiente adequado para a introdução de processos colaborativos nas reuniões de planejamento. A colaboração entre vários intervenientes pode contribuir para aumentar a confiabilidade dos planos e a aderência aos padrões estabelecidos (BATAGLIN *et al.*, 2018).

2.7.4 A Integração entre o Lean e o BIM

As áreas individuais de *Lean Construction* e BIM têm sido pesquisadas extensivamente. No entanto, uma pequena parte dos esforços exploram essas duas áreas coletivamente (SACKS *et al.*, 2010). A construção enxuta e o BIM não são dependentes entre si, portanto, suas práticas podem ser implementadas individualmente. No entanto, propõe-se que todo o potencial para melhoria dos projetos de construção sejam alcançados quando sua adoção é integrada (SACKS *et al.*, 2010).

De acordo com Sacks *et al.* (2010), a construção enxuta e BIM possuem sinergias que abrangem todo o ciclo de vida do projeto de construção. Verifica-se, especialmente, que três princípios estabelecem mais interações:

- a) redução de desperdício obtendo a qualidade certa da primeira vez (através da redução da variabilidade e melhor produto projetado);
- b) melhorar o fluxo e reduzir a incerteza da produção;
- c) redução do tempo total da construção.

Bataglin *et al.* (2020), especialmente em construções industrializadas ETO, citam evidências de que o modelo BIM 4D contribui para melhorar o desempenho do projeto de duas formas. Primeiramente, eliminando atividades que não agregam valor, como estoques, operações de descarga e tempo de espera. Posteriormente, o modelo torna o processo de montagem mais confiável, apesar da incerteza que existe no processo.

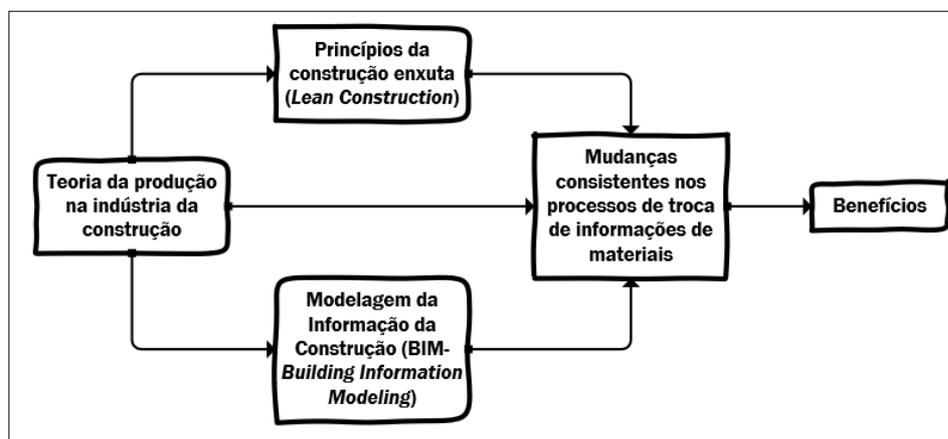
Em se tratando de estruturas ETO, desenvolve-se o planejamento logístico da obra, com o objetivo de tornar puxada a fabricação e montagem das peças pelo processo fabril. Para isso, torna-se a utilizar a linha de balanço e BIM 4D para simulação de diferentes cenários e suporte à tomada de decisão (RECK *et al.*, 2020). A aplicação 4D do BIM fornece a geração oportuna e combinada da quantidade de material, tempo de entrega e área de armazenamento, o que ajuda os participantes do projeto a resolverem melhor o processo de fornecimento de material no canteiro (YU; LI; LUO, 2016).

Em obras rápidas do tipo ETO existe a possibilidade de modelar as restrições vinculadas ao recurso material, uma vez que cada elemento possui características próprias. O monitoramento e rastreamento da situação de fabricação e envio é uma restrição fundamental para o desempenho dessa categoria de projeto (BATAGLIN *et al.*, 2020; ETGES *et al.*, 2020).

Etges *et al.* (2020) propõe a alta capacidade da modelagem BIM em auxiliar na identificação de restrições de médio prazo, especialmente nas categorias de projeto, materiais, equipamentos e segurança do trabalho, de acordo com as fases da obra.

Dessa forma, Sacks *et al.* (2010) propõem que, para a realização abrangente dos benefícios da interação entre o *Lean* e o BIM, as mudanças não devem ser apenas nos processos de informação e materiais, mas envolvendo os três – novos processos, ferramentas BIM e princípios da construção enxuta. Essa abordagem é representada na Figura 17.

Figura 17 – Dependência da realização de benefícios entre o Lean e o BIM



Fonte: adaptado de Sacks *et al.* (2010).

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa adotado neste trabalho. Inicialmente, é apresentada a estratégia e delineamento da pesquisa, seguido da caracterização da Empresa, seleção dos softwares utilizados e avaliação do modelo.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Este trabalho propõe um modelo para apoiar a gestão de projetos de engenharia, suprimentos e construção em empreendimentos complexos através do uso do BIM. O ponto de partida para a realização da pesquisa é o conhecimento de uma classe de problemas práticos (AKEN, 2004). Neste caso, os problemas existentes ao longo do ciclo de vida de um projeto, entre sua concepção, fabricação e montagem em canteiro.

Tendo em vista a natureza do problema e das questões de pesquisa apresentados no capítulo anterior, este tipo de pesquisa é orientada a criação de algo novo, que não existe na natureza, conhecida como “ciência do artificial” (*design research*) (KUECHLER; VAISHNAVI, 2008).

Optou-se por uma abordagem na qual o pesquisador participa ativamente nos processos investigados, intervindo no ambiente real da organização, implementando e propondo mudanças e coletando evidências que proporcionem um melhor entendimento dos fenômenos observados.

Portanto, esta pesquisa está relacionada como *Design Science Research* (DSR), também denominada de pesquisa construtiva, a qual se propõe à produção de construções¹³ inovadoras (ou artefatos), sendo esta prescritiva, destinadas a resolver problemas práticos e que, ao mesmo tempo, possibilitem uma contribuição teórica para o meio em que se aplica (LUKKA, 2003). Em contraste com pesquisas com foco explicativo, o DSR está primariamente preocupado em melhorar a prática através do raciocínio indutivo e dedutivo (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

Segundo Lukka (2003), os principais recursos da abordagem de pesquisa construtiva exigem que ela se fundamente em:

¹³ O termo construção, pontualmente nesse contexto, está relacionado à desenvolvimento ou criação e não ao termo construção civil. Conforme Lukka (2003), novas construções trazem, por definição, uma nova realidade.

- a) foco em problemas do mundo real considerados relevantes;
- b) produzir uma construção inovadora destinada a resolver o problema inicial;
- c) busca na implementação da construção desenvolvida e teste de sua utilidade e aplicabilidade na prática;
- d) implica em cooperação contínua entre pesquisador e equipe, na qual espera-se que o aprendizado ocorra pela experiência prática;
- e) amparo em conhecimento teórico anterior;
- f) atentar-se em submeter os resultados empíricos à reflexão baseada na teoria.

A DSR produz conhecimento através da criação de artefatos. Existem vários tipos de artefatos, tais como constructos, conceitos, modelos e métodos (JÄRVINEN, 2007). Jarvinen (2007) afirma que os artefatos ou produtos devem ser avaliados segundo critérios de valor ou utilidade. De qualquer modo, o conhecimento é gerado, utilizado e analisado por meio das experiências práticas. Nesta pesquisa utilizou-se o termo estrutura a fim de simplificar a definição dos tipos de artefatos.

O produto principal desta pesquisa é uma estrutura de modelagem de informações que visa apoiar a resolução de problemas relacionados ao planejamento e controle de projetos a nível de médio prazo com o apoio de BIM. A pesquisa foi concebida, desenvolvida, implementada e avaliada em colaboração com uma empresa, denominada de Empresa, especializada no segmento de projetos industriais, tais como a farmacêutica e alimentícia, fornecendo serviços de engenharia, qualificação e automação.

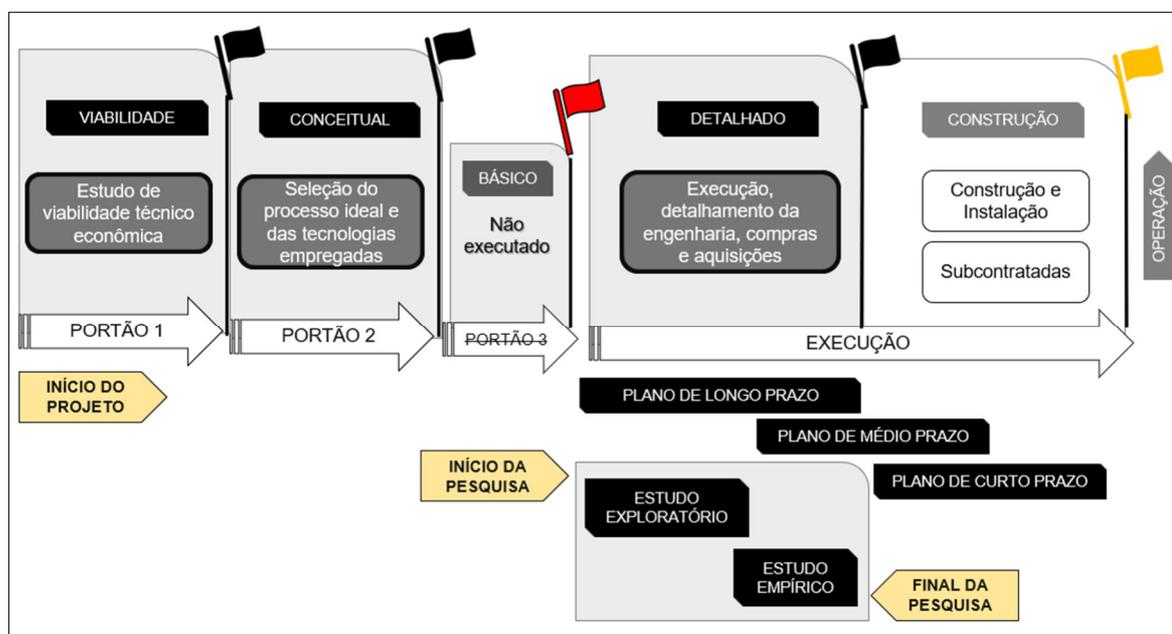
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A Figura 18 apresenta de forma resumida como foram realizados os estudos exploratório e empírico. Conforme ilustrado, o uso das ferramentas visuais foi concebido paralelamente ao desenvolvimento dos cronogramas de longo e médio prazo, cujo ponto de partida foi o modelo conceitual herdado do portão 2.

Observou-se uma ruptura durante o ciclo de vida do projeto, especificamente no portão 3, o que gerou repercussões para a fase EPCM. O projeto teve início abril de 2022 e previsão inicial de entrega da fase de engenharia em julho de 2022. Apesar do projeto estar em fase de detalhamento para construção durante a realização desta pesquisa, sendo precedentemente analisado a partir de dois portões para tomada de

decisões, houve duas prorrogações de prazo por mudanças de projeto e demora na aprovação de layouts por parte do Cliente, estendendo o final do projeto detalhado para final de agosto de 2022.

Figura 18 – Posicionamento dos estudos no contexto do projeto



Fonte: elaborado pelo autor.

O plano de longo prazo foi revisado para correção dos prazos, mas por consequência, o plano de médio prazo, que visa suprimentos e construção, também foi tardiamente elaborado e os impactos na projeção das fases subsequentes foram detectados com pouco tempo de antecedência.

A Empresa apresentou na semana 28 o cronograma de suprimentos e construção de médio prazo mais apurado para entender melhor os riscos envolvidos na data meta de conclusão da construção da fase (31/03/2022), estabelecendo os vínculos entre a fase de EPCM e análise do impacto dos atrasos para as fases subsequentes. Tal ocorrência tornou-se um risco do projeto, dificultando a aderência do processo de aquisição. Por isso, a Empresa buscou inserir seu recurso próprio de planejamento de suprimentos e construção no projeto para dar maior controle e solidez ao processo.

Após o final do projeto detalhado, as quatro semanas posteriores foram utilizadas para fechamento de data-book¹⁴ e mobilização da gestão para fase de

¹⁴ Databook é um livro composto por diversos documentos que mostram o histórico de execução de um serviço, de uma obra ou da fabricação de um produto.

construção. O início da obra foi programado para setembro, etapa em que a Empresa compartilha a responsabilidade pelo planejamento das atividades com as contratadas, cumprindo as datas marco estabelecidas pelo Cliente.

Foi discutido com o Cliente que os atrasos e reprogramações recorrentes do cronograma do projeto detalhado foram em grande parte devido a alterações de premissas, dificultando um progresso significativo no detalhamento do projeto. A Empresa reconheceu a relevância de discussão desses temas, mas solicitou uma flexibilização por parte do Cliente nos impactos que essas discussões pudessem gerar para o cronograma.

O Cliente manifestou que muitas vezes os estudos preparados pela Empresa demoravam muito tempo para serem levados ao seu conhecimento e que deveriam ser resolvidos de maneira mais ágil. A Empresa concordou com essa questão, mas enfatizou que mantém uma sequência que deve ser respeitada para que a informação seja gerada de forma segura e consistente e que possui um sistema de controle de qualidade certificado, que deve ser seguido para garantir a qualidade da documentação emitida.

A pesquisa foi composta por dois estágios (Quadro 1), sendo o primeiro um estudo de caráter exploratório, acerca dos processos de gestão de projeto praticados e das possibilidades de aplicação das ferramentas de modelagem no contexto da Empresa. Posteriormente, no estágio B, foram desenvolvidas, em um dos projetos correntes da Empresa, a implementação e avaliação da proposta de estrutura.

Quadro 1 - Etapas do estudo desenvolvido

Estágio	Processo	Enfoque
Estágio A	Procedimentos tradicionais da Empresa	Possibilidades de aplicação das ferramentas no novo contexto
Estágio B	Engenharia, Suprimentos e Construção	Implementação e avaliação do modelo
	BIM 4D e Linha de Balanço	

Fonte: Elaborado pelo autor.

As etapas foram construídas de acordo com o delineamento da pesquisa apresentado na Figura 19. Utilizou-se como referência as etapas do processo de pesquisa construtiva proposto por Kasanen, Lukka e Siitonen (1993) e Lukka (2003): (1) encontrar um problema de relevância prática e com potencial de pesquisa; (2) obter uma compreensão geral e abrangente do tópico; (3) construir uma solução inovadora

para o problema; (4) implementar e avaliar a solução; (5) testar a solução e avaliar a contribuição prática; e (6) identificar e avaliar a aplicação da solução.

Tais etapas estão associadas as fases definidas por Holmström, Ketokivi e Hameri (2009): (A) compreensão e incubação da solução; (B) desenvolvimento da solução; e (C) análise teórica e reflexão. Dessa forma, na figura é ilustrado como as etapas da pesquisa relacionam-se às fases descritas pelos referidos autores.

Utilizou-se como ponto de partida as contribuições dos modelos desenvolvidos pelos seguintes autores: Bataglin (2017), Bortolini (2015) e Reck *et al.*(2020), no que se refere aos modelos para gestão de processos em obras de sistemas ETO; Sauer (2020), a fim de implementar melhorias relacionadas ao uso do BIM na gestão integrada de prazos e custos; e a proposição do modelo de Barth *et al.* (2020), Schramm (2009), Reck (2013) para PSP (BARTH *et al.*, 2020; BATAGLIN, 2017; BORTOLINI, 2015; RECK, 2013; RECK *et al.*, 2020; SAUER, 2020; SCHRAMM, 2009).

O escopo de decisões que compõem o estudo foi baseado em uma série de etapas proposta por Schramm (2009) e Reck (2013). Estas etapas, por sua vez, foram agrupadas de acordo com a unidade de análise a qual dizem respeito: a unidade-base (pavimento ou setor) ou o empreendimento. Vale ressaltar que as características complexas do projeto prejudicam a definição de uma única unidade-base, sendo necessário que o planejamento da produção esteja vinculado à pacotes de construção, conforme definições da ferramenta AWP. Embora essas fases sejam representadas de forma sequencial, as decisões que elas contemplam devem ser vistas de forma integrada.

A partir dessas definições, esta pesquisa também utilizou proposições do modelo apresentado por Barth *et al.* (2020), Bortolini (2015) e Bataglin (2017). Diferentemente de outros estudos, o trabalho destes autores enfatizou o planejamento e controle baseado na localização (LBMS), uso da simulação BIM 4D como suporte à tomada de decisão e entendimento dos processos logísticos dos suprimentos e de canteiro durante os estágios pré-construção. As contribuições de Sauer (2020), com foco na gestão integrada de prazos e custos utilizando o BIM, foram utilizadas nesta pesquisa, principalmente na utilização do software Vico Office como ferramenta de desenvolvimento do LMBS.

O estágio A da pesquisa consiste na análise aprofundada do problema real a fim de construir a compreensão para o enquadramento do problema, considerando o

sistema de planejamento vigente pela Empresa. A primeira parte do estudo foi realizado a fim de buscar a compreensão das condições de contorno da pesquisa.

Inicialmente foi realizado um diagnóstico dos processos de engenharia, especificamente no ciclo de desenvolvimento de projeto e suprimentos praticados pela Empresa. Holmström, Ketokivi e Hameri (2009) citam que a fase de incubação da solução é predominantemente subjetiva e imprevisível. Á vista disso, durante esse período, buscou-se identificar oportunidades de melhorias e possibilidades do uso do BIM como apoio nos processos.

Durante o estudo na Empresa, entrevistas informais foram realizadas como fonte de evidências, enfocando diretamente o tópico do estudo. As observações diretas também foram utilizadas como fonte de evidências, através da participação do pesquisador nas reuniões técnicas de engenharia. Essas observações foram fundamentais para registrar fenômenos de interesse que não fossem puramente culturais ou históricos, assumindo dados coletados direto das condições físicas e ambientais do projeto (YIN, 2001).

A investigação nos estudos levou em consideração a possibilidade de haver vários observadores a partir da realidade do ponto de vista interno ao estudo de caso (YIN, 2001). A fim de aumentar a confiabilidade das evidências observacionais, o envolvimento da equipe técnica em obra, sobre orientação do pesquisador, assumiu a participação ativa em eventos que estavam sendo estudados.

Além de entrevistas e observação direta, utilizou-se documentos das obras estudadas, sendo estes caracterizados como cronogramas de execução, planejamento de canteiro e projetos executivos. Ainda na fase exploratória da pesquisa, um primeiro estudo foi realizado com a finalidade de adquirir e aprimorar as técnicas de modelagem através dos *softwares* de modelagem *Autodesk Revit*, e de planejamento *Autodesk Navisworks* e *Vico Office*, bem como dos processos de gerenciamento utilizados pelas Empresas.

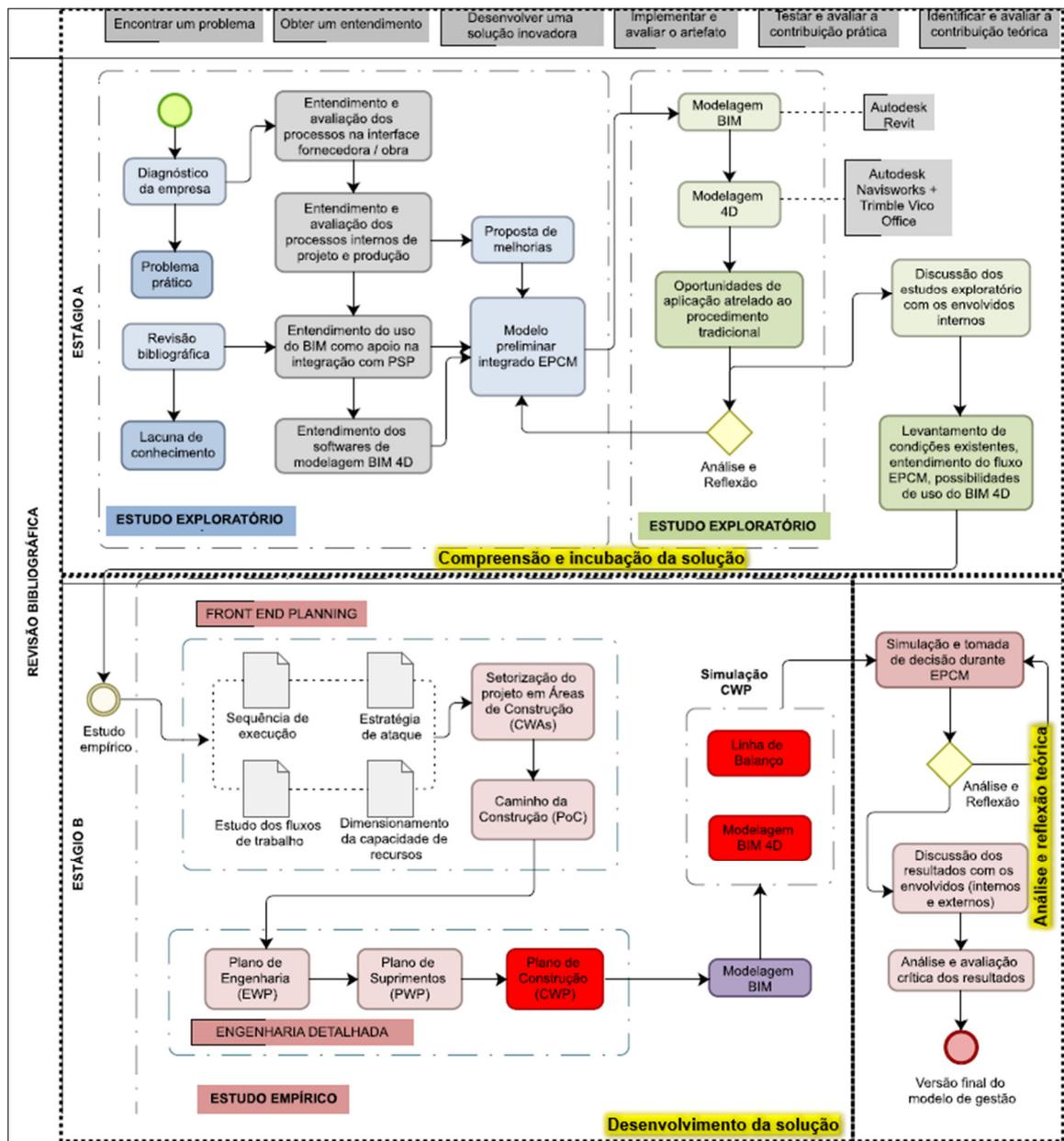
No estágio B da pesquisa foi realizado o desenvolvimento de um estudo prático na Empresa. Devido ao fato de o projeto estar em fase de detalhamento¹⁵, pode-se explorar a utilização do BIM no suporte ao projeto do sistema de produção. Neste

¹⁵ Projeto detalhado corresponde à fase de projeto na qual são gerados os desenhos e diagramas para a execução do projeto.

estágio foi desenvolvida e implementada a versão final da estrutura, dado o caráter mais intersubjetivo¹⁶ do conhecimento agregado nesta fase final de pesquisa.

Conforme Reck *et al.* (2020), utilizou-se a linha de balanço, BIM 4D e algumas ferramentas auxiliares para criar diferentes cenários, propostos para suporte à tomada de decisão tanto para os processos de projeto quanto para o gerenciamento da construção.

Figura 19 – Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

¹⁶ Para Holmström, Ketokivi e Hameri (2009), na fase de refinamento da pesquisa, utiliza-se o raciocínio intersubjetivo (para não dizer objetivo), mas também indução e dedução.

A partir da escolha da pesquisa construtiva como abordagem metodológica, pode-se afirmar que o resultado central desta pesquisa é a proposição de uma estrutura de planejamento e controle de médio prazo, e que a metodologia incorporou o pesquisador como mecanismo ativo no desenvolvimento de um conceito de solução para o planejamento integrado de projetos de engenharia, suprimentos e gerenciamento de construção.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A Empresa, denominada nesta pesquisa de Empresa, possui 15 anos de experiência no mercado brasileiro e 90 anos de experiência global em engenharia avançada para projetos industriais, especialmente no segmento farmacêutico e alimentício. A Empresa já desenvolveu mais de 300 projetos e 500 mil horas de engenharia, oferecendo serviços de gerenciamento de projetos e de construção, desde sua concepção até sua entrega para o usuário final. A equipe técnica dispõe de mais de 95 engenheiros - entre eles civis, mecânicos e de automação - e arquitetos, que desenvolvem projetos em todas as disciplinas da engenharia, arquitetura, custos e gerenciamentos.

De modo a administrar toda a complexidade da natureza dos projetos, a Empresa aplica um sistema de gerenciamento de projetos com base nos procedimentos do *Project Management Institute* (PMI) e do próprio Sistema de Gestão da Qualidade ISO 9001:2015.

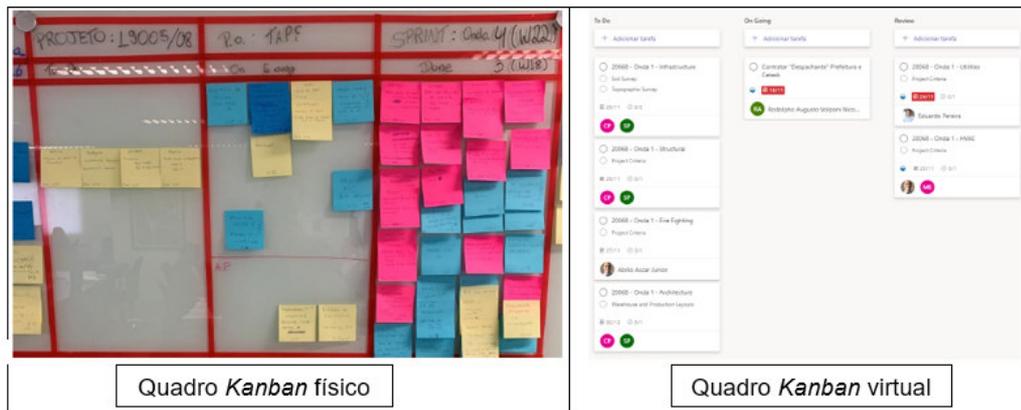
A Empresa também utiliza a metodologia *Front End Loading* (FEL), na qual informações estratégicas suficientes são produzidas para que o Cliente possa tomar decisões, considerar os riscos e direcionar os recursos, a fim de maximizar o potencial de sucesso do projeto. Neste processo, um projeto complexo é analisado a partir de três portões – FEL1, FEL2 e FEL3 - para tomada de decisões, definidos conforme a progressão dos projetos, baseados no esquema da Figura 20.

Figura 20 – FEL para empreendimentos da Empresa

	FEL 1		FEL 2		FEL 3		Execução		Operação
Projeto	Viabilidade		Conceitual (CD)		Básico Estendido (BD)		Detalhado (DD)	Construção (CM)	Start up e operação
Características	Avaliação do negócio	Gate 1 - Go/No Go	Seleção de alternativas	Gate 1 - Go/No Go	Definição do escopo	Gate 1 - Go/No Go	Detalhamento para construção	-	
Entregável	Estudo de viabilidade (técnica e econômica)		Seleção do processo ideal e das tecnologias empregadas		Escopo de trabalho de cada disciplina e do plano de desenvolvimento do projeto		Execução, detalhamento da engenharia, compras e aquisições	Construção e instalação	Comissionamento, Start up, ajustes, velocidade de cruzeiro, melhoria contínua
Estimativa do TIC	50%		30%		20%		10%	10%	-

Fonte: dados da Empresa.

Além disso, devido às características complexas da maioria dos projetos desenvolvidos, a Empresa adaptou seus processos de gestão tradicional através da incorporação do *Scrum*, conforme ilustrado na Figura 21. Diariamente, são realizadas reuniões com as equipes de todos os projetos em execução, buscando aderir o progresso à linha de base de desempenho do empreendimento.

Figura 21 – Quadro *Scrum* da Empresa

Fonte: dados da Empresa.

Em relação à estrutura organizacional da Empresa, tem-se o Conselho de Direção, seguido pelos gerentes do projeto (*PM – Project Manager*), engenheiros de planejamento (*PP - Project Planner*), coordenadores de cada disciplina e engenheiros e projetistas. Destaca-se como recurso de suporte importante para o desenvolvimento

desta pesquisa, as atribuições do gerente de BIM (*BIM Manager*)¹⁷, responsável por supervisionar e orientar os engenheiros e projetistas de todos os projetos simultaneamente, em todas as fases do empreendimento.

3.4 SELEÇÃO DOS SOFTWARES DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A escolha dos *softwares* de modelagem BIM e simulação 4D foi realizada entre dezembro de 2021 e março de 2022. Para o estágio de apuração dos *softwares* utilizados na pesquisa, levou-se em consideração a experiência do pesquisador em estudos anteriormente realizados, além de sua experiência profissional com modelagem BIM e simulação 4D.

A equipe de engenharia da Empresa dispunha do pacote *AEC Collection* da *Autodesk*. O pacote fornece aos projetistas e engenheiros um conjunto de ferramentas de BIM e CAD compatíveis com um ambiente comum de dados com base na nuvem que facilita a entrega de projetos desde o início do projeto até a construção.

De modo a capacitar os participantes das equipes de projeto da Empresa no uso do pacote Autodesk, foi realizado um curso de uso e implantação do *Autodesk Construction Cloud* (ACC) dentro do conceito de Ambiente Comum de Dados (CDE - *Common Data Environment*). O CDE é uma solução que integra processos e tecnologia a fim de prover uma fonte única e rastreável de informação compartilhada durante todo o ciclo de vida do projeto.

O treinamento, com carga horária de 12 horas, realizado entre os meses de abril e maio de 2022, envolveu a capacitação do módulo de colaboração de projeto e coordenação, utilizado pelos projetistas das disciplinas, planejadores e gerentes de BIM. A *Autodesk* possui um módulo de gerenciamento de construção, com capacidade de atender a fase de execução, porém, como este não faz parte do pacote adquirido pela Empresa, o treinamento restringiu-se à etapa de engenharia. Os *softwares* utilizados diretamente na pesquisa foram o *Revit 2022*, para modelagem, e *Navisworks Manage 2022*, para visualização dos modelos federados e simulação 4D.

No entanto, estes *softwares* são insuficientes no atendimento a todos os objetivos desta pesquisa. As ferramentas não possuem todas as características para agregar ao método proposto as funcionalidades do AWP e LBMS, sendo estes

¹⁷ O pesquisador integrava a equipe de BIM durante o desenvolvimento da pesquisa em conjunto com outros dois Gerentes BIM e um Modelador BIM.

orientados à estrutura de planejamento baseados em pacotes de construção e zonas de trabalho, respectivamente .

Conforme Sauer (2020), o software *Vico Office* possui atributos que permitem o planejamento da produção baseado em localização. Além disso, o software permite o desenvolvimento de modelagem BIM 5D e controle da produção. A partir desta análise, e com a possibilidade de adquirir uma licença educacional junto ao PPGEC-UNISINOS, o resultado foi a escolha do software *Vico Office* para a complementaridade das simulações da construção.

3.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO MODELO

Os produtos da DSR são avaliados de acordo com critérios de valor e utilidade, sendo a contribuição da pesquisa consistindo na novidade da proposta e na persuasão das afirmações sobre a sua efetividade (MARCH; SMITH, 1995). De modo a prover a aplicação da construção gerencial, o critério principal para avaliar os resultados dos estudos aplicados é a sua utilidade prática, a qual tem inferências em questões como relevância, simplicidade e facilidade de uso desses resultados (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993).

Dessa forma, a estrutura gerada foi avaliada em função de dois constructos: utilidade e aplicabilidade (facilidade de uso). Para a definição desses critérios, foram utilizadas pesquisas anteriores que já propuseram avaliações de modelos, como Sauer (2020), Bataglin (2017), Reck (2013) e Bortolini (2015). A Figura 22 representa os constructos principais, categorizados em subconstructos e as respectivas fontes de evidências.

Com relação à utilidade da estrutura, entende-se que pode ser útil se as informações inseridas para a simulação BIM 4D forem beneficiar a tomada de decisão, se promover o aumento no entendimento dos processos de engenharia, suprimentos e construção pelos intervenientes, se promover e estimular um ambiente mais colaborativo e, ainda, se forem utilizadas para redução de prazos e custos do projeto.

Com relação à facilidade de uso da estrutura, considerou-se o esforço despendido na modelagem disciplinar, na produção de documentos orientados à simulação da construção e na própria simulação BIM 4D. Além disso, a simplicidade na manipulação dos modelos favorece a possibilidade de continuidade de uso e promoção de melhorias pela Empresa após a conclusão dos estudos.

Figura 22 – Avaliação da solução

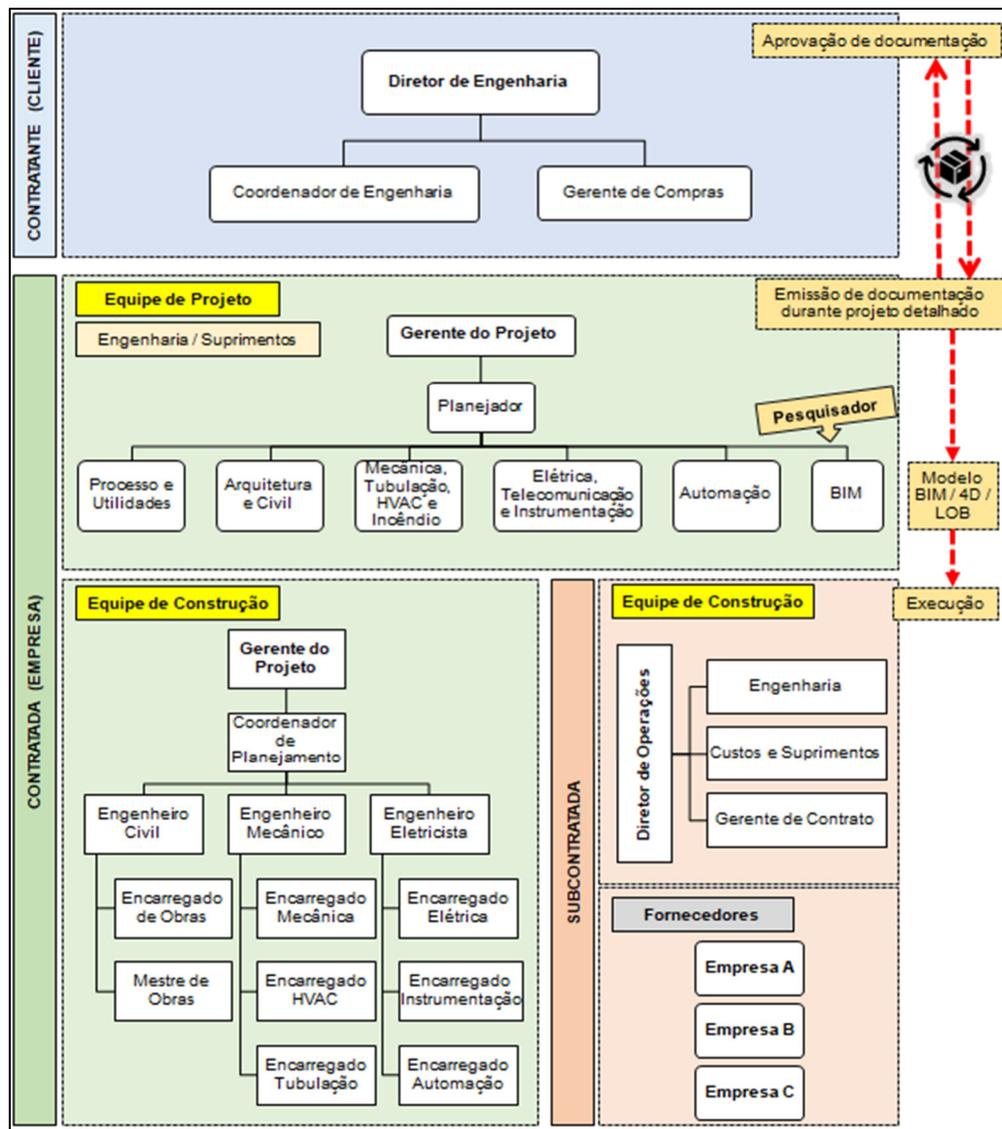
	Subconstructos	Descrição	Fontes de evidências
Utilidade	Integração	Utilidade do modelo para melhor entendimento da interrelação entre as informações de EPCM para a tomada de decisão	Análise de documentos; Observação participante; Avaliação da implementação; Percepção do pesquisador; Entrevistas abertas; Relacionamento do fluxo com o processo tradicional da Empresa.
	Transparência	Utilidade do modelo no uso de ferramentas visuais para discussão e divulgação do planejamento	
	Padronização	Utilidade do modelo proveniente da padronização do processo de planejamento e coleta de dados para a tomada de decisão	
	Confiabilidade	Utilidade do modelo na análise e identificação de quais as fontes de informação foram utilizadas para a tomada de decisão	
	Flexibilidade	Utilidade do modelo através da simulação BIM 4D de diversos cenários de execução para a tomada de decisão	Número de cenários simulados e da utilização de simulações em <i>workshops</i> para tomada de decisão
Aplicabilidade	Uso	Aplicabilidade do modelo através da facilidade de uso, participação e integração das pessoas envolvidas	Número de participantes para a tomada de decisão e observação participante
	Comunicação	Aplicabilidade do modelo através da facilidade de comunicação, entendimento dos modelos BIM e de obtenção das informações desejadas	Observação participante
	Eficiência	Esforço envolvido na obtenção das informações proposta pelos modelos	(MARCH; SMITH, 1995) Comparação do número de projetistas envolvidos e horas de projeto
	Continuação	Aplicabilidade da continuidade ao uso do modelo em empreendimentos futuros	Entrevistas abertas e observação direta

Fonte: elaborado pelo autor.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos estágio A e estágio B, este subdivido em aplicação prática da proposta e utilização dos modelos 4D e linhas de balanço. Ao final, a proposição de uma estrutura é apresentada e avaliado conforme os constructos definidos no item 3.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO D. Este estudo foi realizado entre os meses de março e agosto de 2022 e as atividades realizadas foram divididas entre os dois estágios. Como ponto de saída, verifica-se no organograma do projeto ilustrado na Figura 23 a conexão entre os departamentos, funções e processos que agregam valor ao projeto.

Figura 23 – Organograma da equipe do projeto



Fonte: elaborado pelo autor.

Verifica-se as divisões entre o contratante (Cliente), a contratada (Empresa) e a subcontratada para etapa de construção. O Cliente, além de requisitar as características do produto, atua como agente de aprovação de toda a documentação emitida pela equipe de projeto da Empresa. O estágio A foi conduzido a partir da inclusão do pesquisador no quadro de colaboradores da Empresa, integrando especificamente a equipe de BIM.

Além das equipes técnicas, a Empresa possui um planejador, atuante como agente de suporte ao gerente do projeto a fim de definir, monitorar e controlar os prazos e escopo do projeto definido junto ao Cliente. Após finalizada a etapa de projeto detalhado, a Empresa estruturou a equipe de construção para atuar junto à equipe de obra da subcontratada.

O diagnóstico realizado na primeira fase da pesquisa teve uma natureza predominantemente qualitativa, sendo utilizadas diversas fontes de evidências. Foram realizadas: 3 reuniões de trabalho interno com a equipe de gestão do projeto, inclusive da fase anterior (conceitual); 2 reuniões preparatórios de início de projeto (pré *kick-off*) com equipe de gestão e projetistas das disciplinas envolvidos no escopo; *kick-off* e reunião técnica de projeto, com equipe da Empresa e engenheiros e representantes do Cliente; visita técnica¹⁸ ao campo para levantamento específicos de disciplinas críticas ao início do projeto; análise de documentos e outros dados da Empresa; e entrevistas abertas informais com o gerente do projeto em questão e do coordenador de planejamento em empreendimentos anteriores com escopo de EPCM.

Diversas fontes de evidência foram utilizadas no desenvolvimento da pesquisa, conforme Figura 24, a fim de assegurar a compreensão e conclusões do estudo a partir do contexto característico da Empresa e do projeto em questão. Esta avaliação teve como premissa a utilização de múltiplas fontes de evidência, como forma de reforçar a consistência da análise de dados.

Além disso, a observação direta no canteiro coincidiu com a etapa de engenharia detalhada, totalizando 3 visitas ao sítio. Estas observações tiveram como foco identificar a validade das evidências herdadas da fase conceitual e que seriam utilizadas para o planejamento da obra, por isso, as visitas foram compartilhadas com as observações de outros integrantes da equipe.

¹⁸ A primeira visita técnica ao campo, com duração de 3 dias, não contou com a presença do pesquisador, sendo realizada pela equipe técnica do projeto.

Figura 24 – Fontes de evidências utilizadas

Fonte de evidência	Período	Estudo exploratório	Estudo empírico
Reuniões de Scrum diárias (h)	18/04/22 - 31/08/22	-	27
Reuniões técnicas de engenharia (h)	27/04/22 - 31/08/22	7	20
Reuniões técnicas de suprimentos (h)	02/06/22 - 25/07/22	-	4
Reuniões técnicas de construção (h)	Agosto	-	5
Treinamentos fluxo colaborativo BIM (h)	14/04/22 - 12/05/22	-	12
Visita à obra	27/04/22 - 24/06/22	1	2
Observação participante		Sim	Sim
Análise de documentos		Sim	Sim
Percepção do pesquisador		Sim	Sim
Observação direta		Sim	Sim
Entrevistas abertas		Sim	Sim
Análise de dados		Sim	Sim

Fonte: elaborado pelo autor.

De modo a envolver outros setores da Empresa no processo de elaboração do projeto, o pesquisador participou diariamente das reuniões de *Scrum*, totalizando 27 horas. A necessidade de avaliar o impacto de decisões isoladas no sistema de produção como um todo desdobrou reuniões gerenciais de engenharia, suprimentos e de construção, totalizando 29 horas. O interesse em relacionar o modelo de planejamento proposto à utilização plena das ferramentas disponíveis propôs uma série de treinamentos, totalizando 12 horas, na plataforma da Autodesk para suportar o fluxo colaborativo em BIM.

A análise de documentos e entrevistas abertas tiveram como utilidade corroborar as informações obtidas através de outras fontes. Além disso, também foi possível fazer inferências a partir da análise documental. As entrevistas com outros participantes procuraram avaliar a utilidade do modelo, a partir da percepção destes quanto aos principais benefícios e dificuldades no processo de desenvolvimento.

Durante o estágio B, os modelos construídos procuraram representar o sistema de produção do empreendimento considerando as particularidades interdisciplinares. Não se buscou, desta forma, detalhar processos isolados no nível de suas operações constituintes.

4.1 ESTÁGIO A – EXPLORAÇÃO E ANÁLISE

Conforme discutido anteriormente, o estágio A consiste na análise aprofundada do problema real, considerando o sistema de planejamento utilizado pela Empresa.

4.1.1 Descrição da Obra Estudada

A obra estudada nesta pesquisa, conforme Figura 25, é um empreendimento de característica complexa em desenvolvimento na Empresa. O projeto consiste em uma nova unidade de produção de medicamentos, com reforma da planta existente e incorporação de novas edificações. Neste trabalho, o empreendimento do Cliente foi chamado de Cliente.

Figura 25 – Dados da obra em estudo

	Obra	Localização da obra	Destino de uso	Área de intervenção (m ²)	
Descrição	1	Minas Gerais	Planta de produção de medicamentos (reforma e ampliação)	32.000 m ²	
Fases	FEL 1	FEL 2	FEL 3	Execução (EPCM)	
	Estudo de Viabilidade	Conceitual (CD)	Básico (BD)	Detalhado (DD)	Construção (CM)
Início	junho-21	setembro-21		abril-22	
Status durante pesquisa	Concluído	Concluído	Não realizado	Em execução	2022/2024

Fonte: elaborado pelo autor.

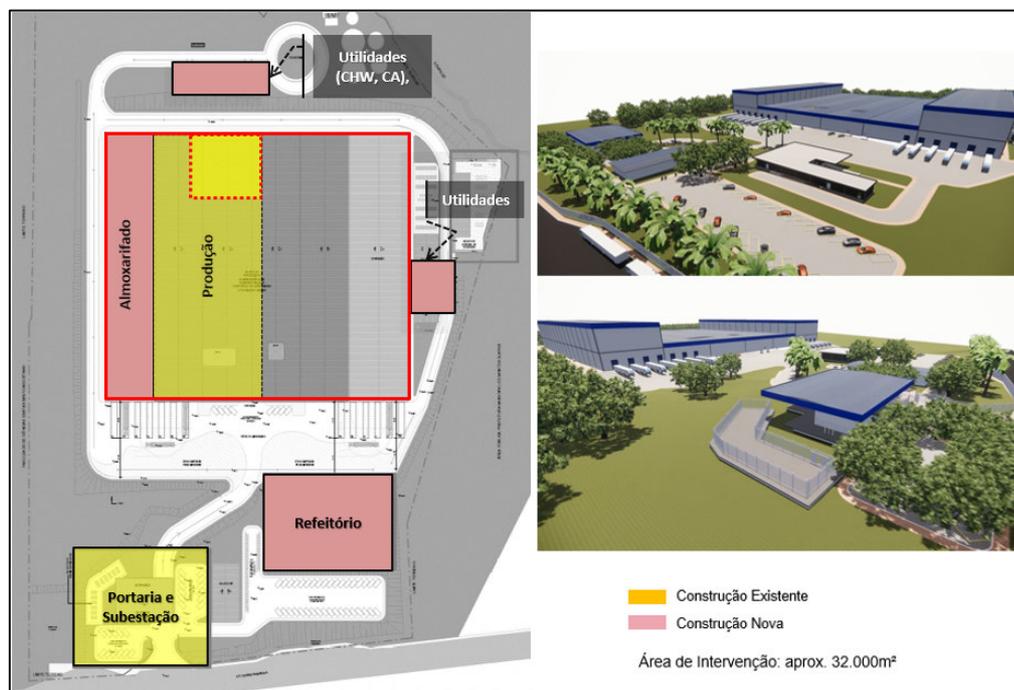
A primeira fase do projeto, denominada de Estudo de Viabilidade, tinha como entregáveis um relatório de estudo de viabilidade, contendo o registro dos levantamentos em campo e proposta de ocupação dos edifícios. Este estágio, iniciado em junho de 2021, consumiu cerca de 4 semanas, incluindo reuniões, ciclos de revisão e de controle de qualidade.

Após identificada a viabilidade da implantação da unidade produtiva, considerando as premissas estabelecidas pelos *stakeholders*, o projeto evoluiu para Projeto Conceitual, Projeto Detalhado e Gerenciamento de Construção. Devido às premissas estabelecidas nas duas primeiras fases e a necessidade de antecipação da fase de construção, o projeto básico foi dispensado.

O Projeto Detalhado, representado na Figura 26, consiste na reforma do prédio de produção e portaria existentes, construção de um novo pavilhão para almoxarifado

anexo à produção, novo refeitório e duas novas edificações para utilidades (inflamáveis e resíduos).

Figura 26 – Empreendimento em fase conceitual



Fonte: dados da Empresa.

Durante o período de evolução desta pesquisa, a fase de Projeto Detalhado estava sendo produzida para atender à fase de construção. Este estágio considerava o desenvolvimento do projeto detalhado de engenharia no período de 5 meses, conforme Figura 27.

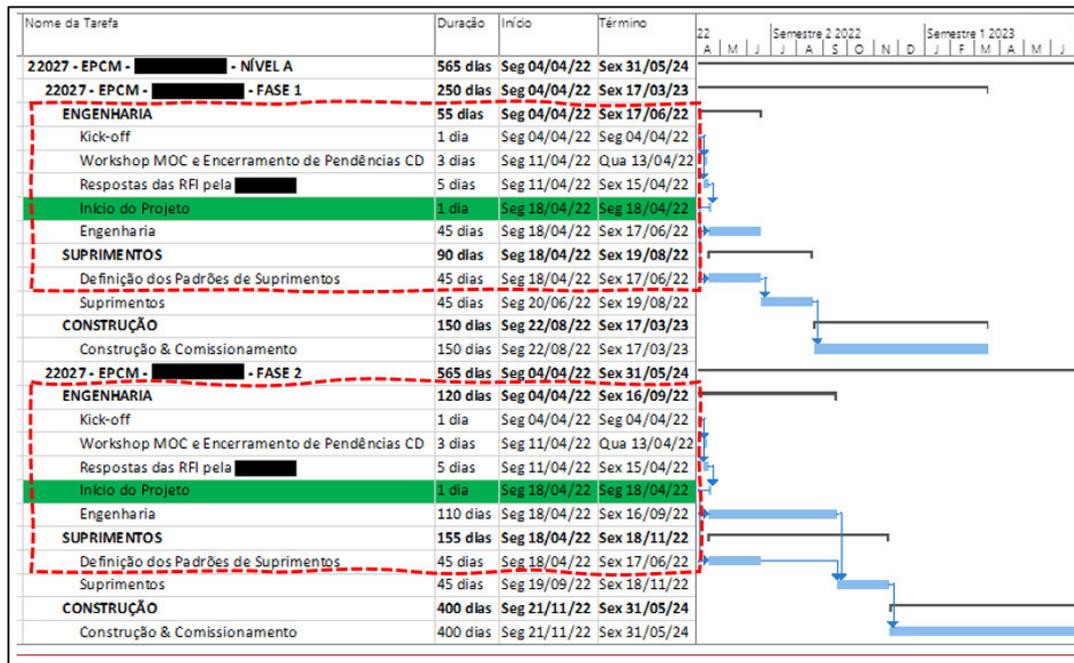
A fase de EPCM na Empresa tem como escopo o desenvolvimento da Estrutura Analítica de Projeto (*WBS – Work Breakdown Structure*) e os projetos de engenharia. A WBS de cada empreendimento é estruturada por obra (*site*), edificação e disciplina. Os projetos de engenharia são utilizados como base para contratação das obras e montagens. Portanto, cada elemento final da WBS deve ter um projeto de engenharia e um memorial de contratação.

A gestão do tempo na fase de EPCM é conduzida pelo Gerente do Projeto que utiliza três horizontes de cronograma, organizados em períodos distintos do empreendimento. São eles: cronograma nível A (plano de longo prazo), cronograma nível B (plano de médio prazo) e cronograma nível C (plano de curto prazo). O pesquisador participou da elaboração do cronograma de nível A e B, promovendo

modificações na organização das atividades de modo a orientá-las aos pacotes de construção e à LBS (ver APÊNDICE A – CRONOGRAMA DE NÍVEL B).

No início do projeto é elaborado o plano de longo prazo. Este é composto pelos principais eventos e entregas chave do empreendimento e suas respectivas datas. Sua composição é aprovada pelo Cliente, com atualizações semanais coordenadas pelo planejador do projeto. Posteriormente, mas ainda nas fases iniciais do projeto, o plano de médio prazo deve ser estruturado. Este horizonte de planejamento é composto pelos principais pacotes de trabalho da WBS, seu respectivo sequenciamento e suas datas de término, formando a primeira rede de precedência do projeto.

Figura 27 – Cronograma de longo prazo



Fonte: dados da Empresa.

Os pacotes de trabalho devem estar alinhados com o plano de ataque da construção¹⁹, que caso sofra alterações, deve ser atualizado. De modo igual ao plano de longo prazo, o cronograma de médio prazo deve ser atualizado semanalmente, incluindo uma curva-S de recursos do projeto.

No início da participação de cada empreiteira no projeto, o plano de curto prazo deve ser concebido. Este horizonte é composto por todas as atividades da empreiteira,

¹⁹ O plano de ataque relaciona-se à divisão das Áreas de Construção, apresentada no item 4.2.1 Divisão das Áreas de Trabalho de Construção.

seu respectivo sequenciamento e suas datas de término. As atividades, atualizadas diariamente²⁰, devem ser estruturadas pelo gerente do projeto da empreiteira e revisadas e aprovadas pelo gerente de construção e pelo engenheiro de planejamento da Empresa, a fim de certificar-se que o mesmo atinge as datas-marco do projeto, conforme plano de médio prazo.

Com base na estruturação do cronograma de médio prazo, o pesquisador teve papel importante na elaboração das listas de materiais (BOM) das disciplinas. Esta lista é utilizada pelos empreiteiros para cotação e dimensionamento de recursos. A BOM foi extraída dos modelos BIM, através da utilização de códigos nos elementos vinculados a mesma divisão dos pacotes de construção. A estruturação dos códigos e o processo para vinculação nos elementos do modelo serão mais bem descritos no item 4.3.2 Planejamento da Construção Utilizando o BIM 4D.

Cabe ressaltar que ao final desta pesquisa a fase de construção ainda não havia iniciado. Portanto, o modelo dedicou-se ao plano de médio prazo, ou seja, até o cronograma de nível B. Por não fazer parte do escopo desta pesquisa, os tópicos de segurança da obra, custos e riscos do projeto não foram examinados.

4.1.2 Definições do Projeto

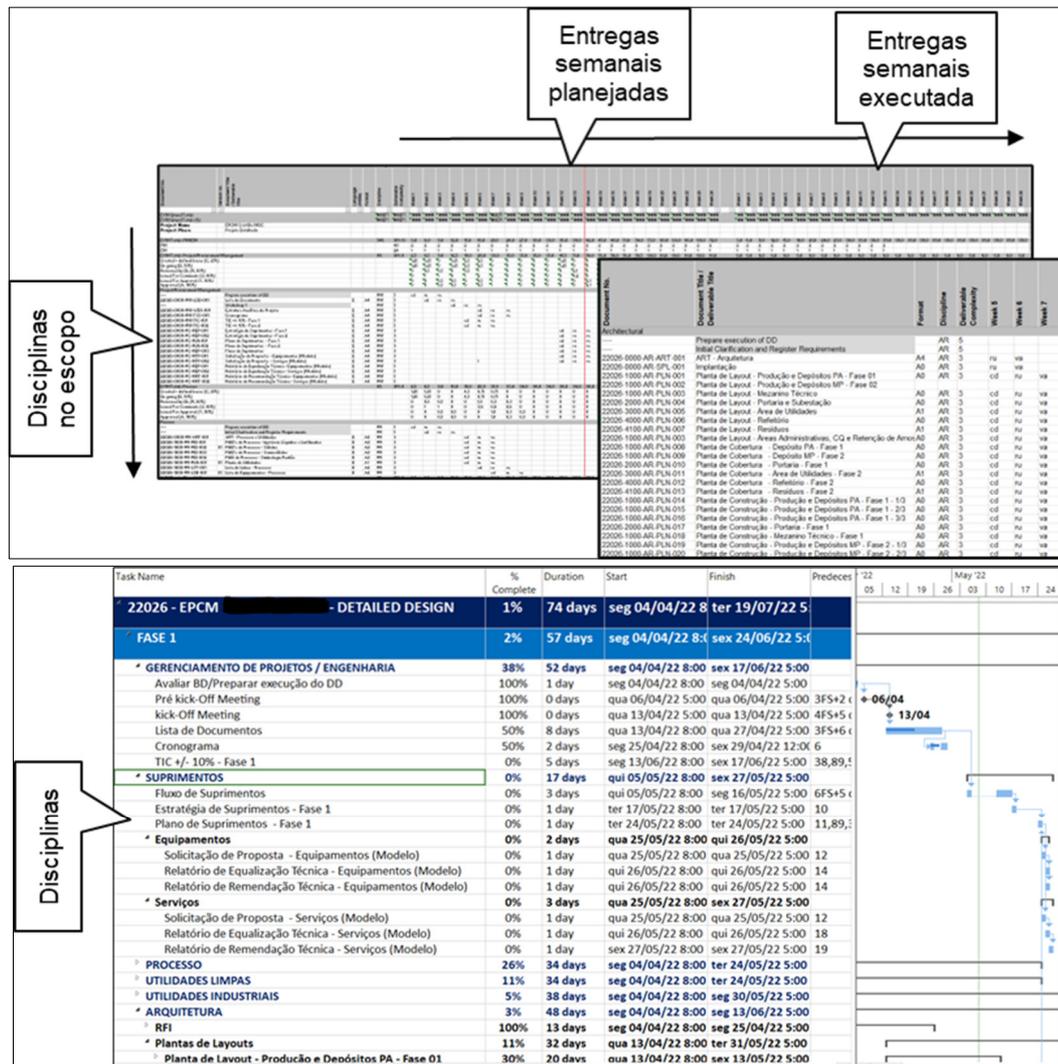
O projeto tem como principais entregáveis ao seu final, plantas, desenhos, diagramas e principalmente listas quantitativas de materiais para que as Empresas instaladoras possam orçar a obra com preços unitários de materiais e serviços.

As disciplinas de engenharia e arquitetura foram desenvolvidas especificamente nas soluções de software da *Autodesk – Revit* (modelagem autoral), *Autodesk Construction Cloud* (gestão dos modelos) e *Navisworks* (detecção de interferências e visualização dos modelos) - com o nível de detalhamento (LOD) 300. Os projetos de estrutura civil (concreto e metálica) e infraestrutura (pavimentação, movimentação de terra e captação de águas pluviais) para adequação da planta existente para a nova unidade de produção foram subcontratados, mas de mesmo modo, integrados ao fluxo colaborativo das equipes.

²⁰ Uma lista de atividades planejadas pela semana deve ser elaborada pelo engenheiro de planejamento no início da semana, para que a mesma seja utilizada como base para acompanhamento dos serviços das empreiteiras pela equipe de fiscalização.

A execução do projeto inicia com o foco no plano de execução do projeto no nível macro, com a decomposição em fases a partir da definição do plano de ataque. Posteriormente, foi gerado um gráfico dos principais marcos para a criação da EAP. Com base na EAP, dois documentos utilizados ao longo de todo o projeto puderam ser desenvolvidos, conforme Figura 28: a lista de documentos (LDOC) e o plano de médio prazo.

Figura 28 – Lista de documentos (LDOC)



Fonte: elaborado pelo autor.

O cronograma é realizado simultaneamente à lista de documentos. A estrutura do cronograma segue a organização desenvolvida na lista, dividindo o avanço conforme a Figura 29. O plano foi concebido inicialmente para definir as datas de entrega dos pacotes de engenharia. Acompanhando o progresso das frentes de

engenharia, as datas de entrega dos pacotes de suprimentos e das etapas de construção puderam ser incorporadas no plano de médio prazo.

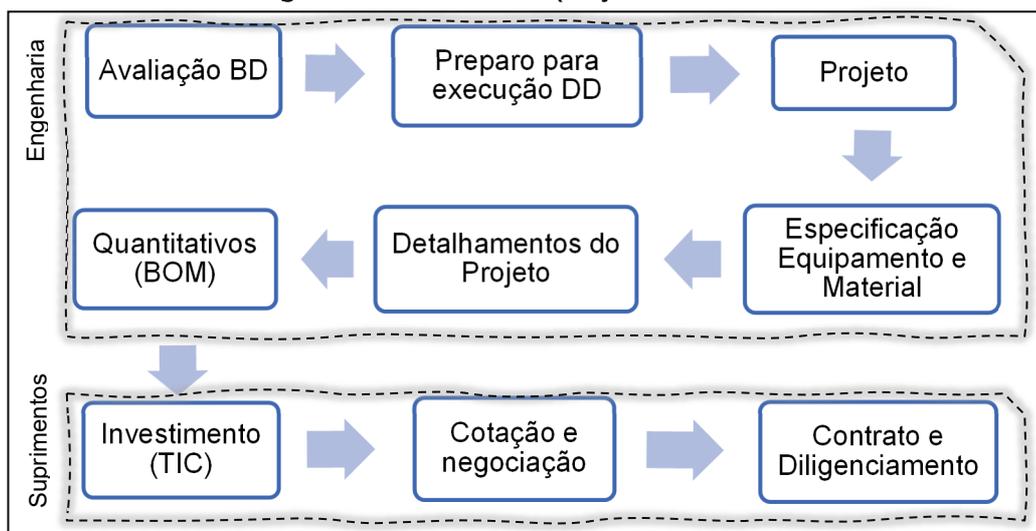
Figura 29 – Definição dos níveis de cronograma e WBS

Nível	Definição	Exemplo
0	Fase do projeto	CD/BD/DD
1	Edificação ou área	Edifício da produção, administrativo
2	Disciplina	Arquitetura, processo
3	Pacote ou entregável	Layouts, planta de construção, P&ID's
4	Atividade ou tarefa	Criação de documento, revisão de documento

Fonte: elaborado pelo autor.

Isto posto, a abordagem padrão para os projetos em estágio de detalhamento para construção, conforme Figura 30, consiste em um fluxo que prioriza fornecer todas as informações necessárias para a construção a partir das soluções indicadas no projeto básico. Através das definições de escopo e estimativa de investimento anteriormente estabelecidas, são especificados todos os equipamentos e componentes necessários para cada disciplina, além da contratação de suprimentos de fornecedores externos (serviços e equipamentos) para as fases subsequentes de construção e operação.

Figura 30 – Fluxo de projetos detalhados



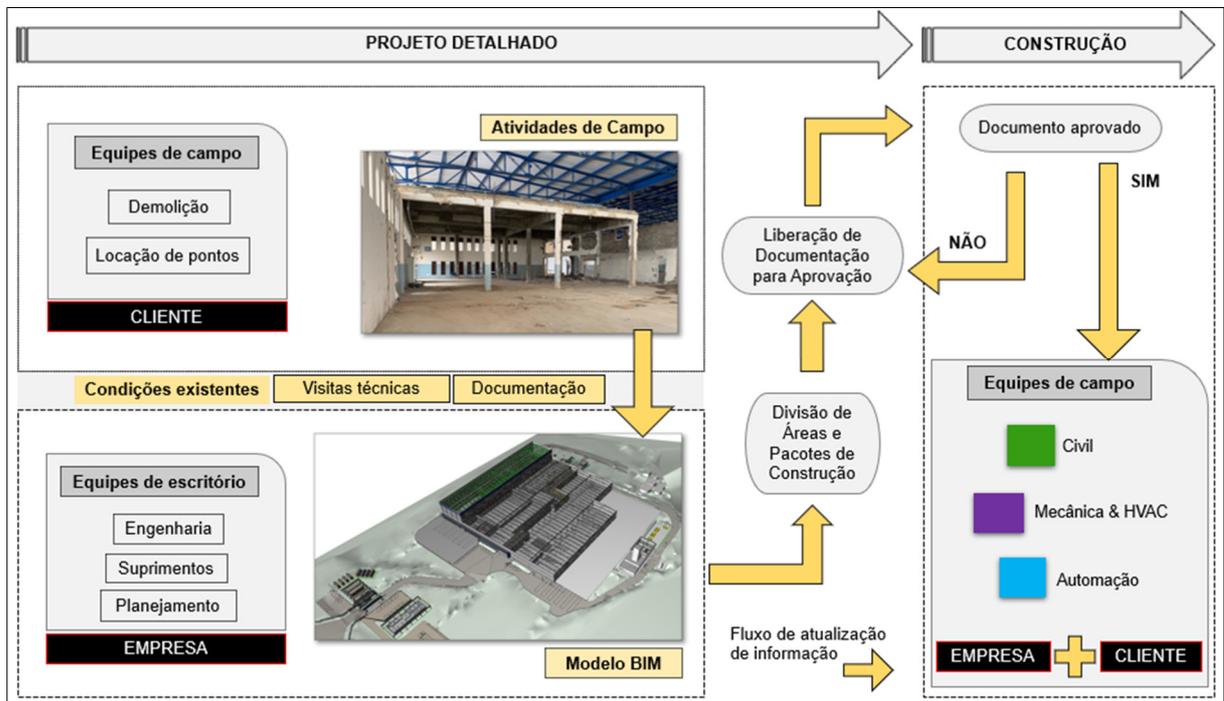
Fonte: elaborado pelo autor.

Verifica-se que a abordagem adotada segue um processo de transformação, em que as informações são processadas através de operações bem definidas. Isso faz com que a execução das diferentes disciplinas seja interdependente e exija uma coordenação precisa.

4.1.3 Levantamento de Condições Existentes do Terreno e Edificações

Tendo em vista as características peculiares da planta existente e do prazo de execução definido pelo Cliente, o processo de intervenção na construção ilustrado na Figura 31 é descrito sucintamente nessa seção. As atividades descritas foram contratadas pelo Cliente e serviram de ponto de partida para que as equipes de escritório (engenharia, suprimentos e planejamento) desenvolvessem o projeto. Tais condições existentes foram modeladas pelo pesquisador, servindo de base para a arquitetura desenvolver o modelo BIM e, posteriormente, as demais disciplinas.

Figura 31 – Fluxo de atualização da informação gerado durante projeto detalhado



Fonte: elaborado pelo autor.

Devido à necessidade do conhecimento topográfico de locação e das condições estruturais na edificação antes da execução de equipamentos industriais e estruturas metálicas, foram realizados alguns levantamentos em campo com o

propósito de evitar surpresas ou deficiências durante a obra que pudessem gerar mobilizações desnecessárias e despesas que poderiam ser evitadas.

Em relação ao acompanhamento topográfico, uma empresa especializada apresentou: levantamento planialtimétrico; locação preliminar para conhecimento dos limites prediais; marcações e locações das redes lineares e estruturas civis localizadas; coleta, processamento e análise de dados; desenhos digitais a partir dos pontos coletados em campo; desenhos digitais de plantas e perfis necessários e pertinentes à execução dos serviços.

Além disso, a estrutura existente foi submetida à demolição parcial, o que tornou necessário o acompanhamento das mudanças de algumas paredes e janelas nas fases iniciais do projeto. De modo análogo, devido à troca da estrutura da cobertura da edificação ser realizada por construtora local, foi necessário o conhecimento do projeto de alçamento a fim de especificar corretamente o novo *layout* da fábrica considerando as alterações.

O estudo exploratório permitiu visualizar que os serviços no canteiro iniciados paralelamente ao desenvolvimento do projeto detalhado submeteram às equipes de escritório a necessidade de um maior foco no controle das condições existentes. Assim, a redução de incertezas foi possível através do envolvimento gerado com as equipes de campo.

Além disso, devido à dificuldade em controlar as atividades executadas pelos terceiros em campo e que pudessem impactar o progresso da documentação de engenharia, foi proposto o agrupamento dos serviços por áreas de construção com seus respectivos pacotes de construção. O fluxo proposto, descrito posteriormente no estudo empírico, buscou reduzir o tamanho dos lotes de produção de engenharia e de suprimentos, aumentando a flexibilidade de produção frente às incertezas do projeto.

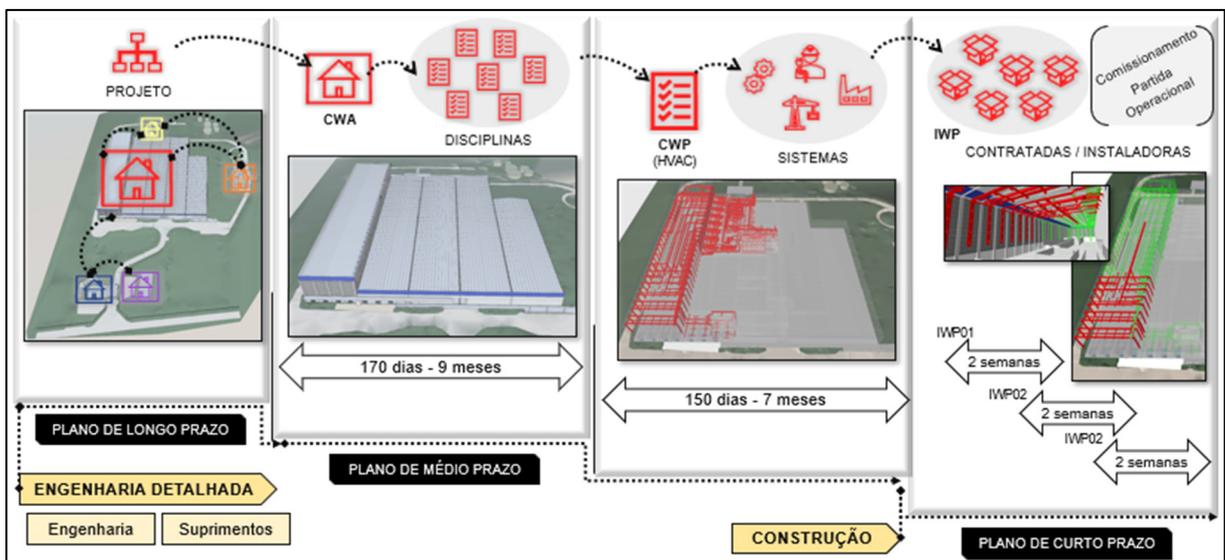
Por fim, a partir do diagnóstico inicial, em que foram identificadas oportunidades de melhorias do processo tradicional adotado pela Empresa, puderam ser definidas as duas etapas do estudo empírico: (a) contribuição no desenvolvimento da documentação de projeto com foco no método proposto e (b) aplicação das adequações utilizando o BIM 4D no fluxo do projeto EPCM.

4.2 ESTÁGIO B – APLICAÇÃO PRÁTICA DA PROPOSTA

O estágio B baseado no método apresentado dispôs dos três estágios do projeto em estudo - engenharia, suprimentos e construção – com maior ênfase às duas primeiras, devido ao início do período de obra ser subsequente à conclusão deste trabalho. Conforme a Figura 32, a estrutura adotada na fase de pré construção (engenharia e suprimentos) se propôs a apoiar a modelagem de informações em termos de controle, qualidade e previsibilidade, tendo papel fundamental para o planejamento da fase de construção.

A elaboração dos pacotes de engenharia, suprimentos e construção durante o projeto detalhado, envolveu diferentes iterações entre a equipe da Empresa e do Cliente. A proposta considera a natureza complexa do projeto em questão e as relações dinâmicas entre os diferentes processos que compõe o sistema de produção do empreendimento.

Figura 32 – Proposta de pacotes de trabalho por fase do projeto



Fonte: elaborado pelo autor.

O modelo utilizado para representar a estratégia de ataque prevista nos planos de longo prazo, médio prazo e curto prazo teve um caráter prescritivo, buscando guiar a trajetória das entregas de engenharia e suprimentos através das áreas de construção ao longo da execução do projeto.

4.2.1 Divisão das Áreas de Trabalho de Construção

O planejamento das entregas do projeto iniciou com a configuração do projeto através da definição dos limites de cada área de trabalho. Utilizou-se os fundamentos de Planejamento e Controle Baseado na Localização (LBMS) e o entendimento dos processos logísticos dos suprimentos e de canteiro durante os estágios de pré-construção.

No início do projeto, o modelo de faseamento do prédio principal herdado do estágio conceitual, previa 2 fases de construção: fase 1, contemplando os pacotes de civil e estruturas para o almoxarifado de matéria prima e produto acabado, além dos serviços de acabamentos e instalações das áreas produtivas (embalagem de sólidos); e fase 2, compreendendo os pacotes de acabamentos e instalações para as demais áreas produtivas (sólidos, injetáveis, semissólidos, áreas administrativas, controle de qualidade, utilidades, refeitório) e almoxarifado.

Devido à mudança de escopo solicitada pelo Cliente, a nova formatação do layout do prédio principal, ilustrada na Figura 33, reduziu consideravelmente a intervenção na planta existente, de modo a alocar as áreas produtivas de maneira mais enxuta. Após a exclusão da fase 2, foram executados o projeto e a construção de modo a atender a demanda temporária de produto semiacabado, material de embalagem e produto acabado somente no almoxarifado oeste.

Figura 33 – Faseamento do prédio principal ajustado

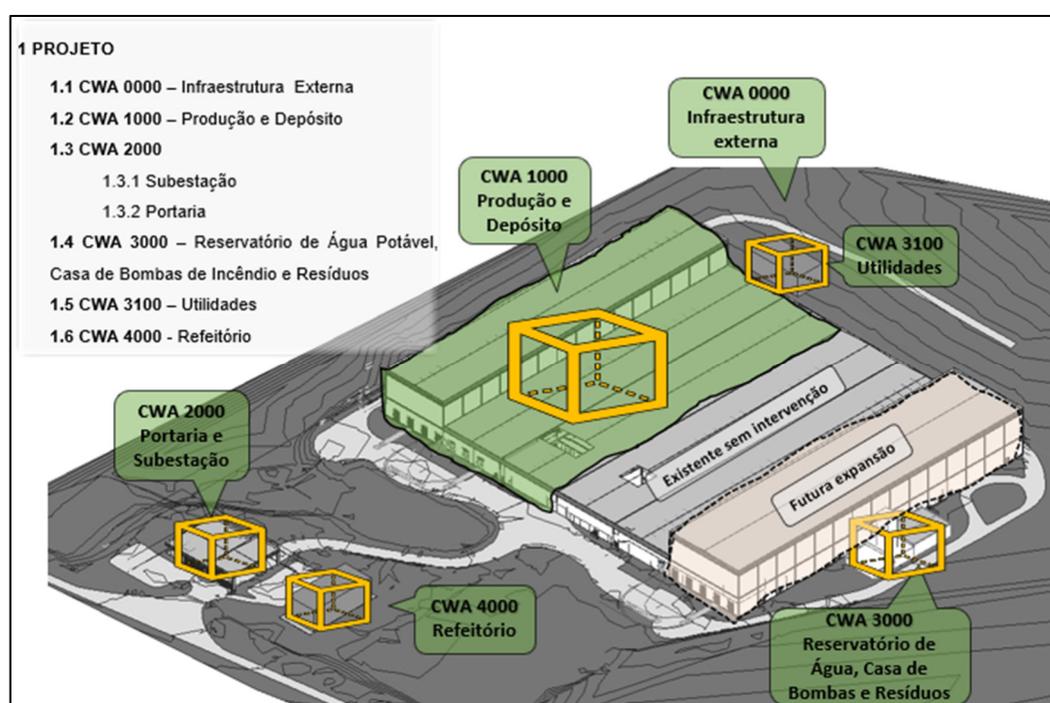


Fonte: elaborado pelo autor.

Diante disso, as Áreas de Trabalho de Construção (CWAs) para a totalidade do empreendimento puderam ser estabelecidas. A organização demonstrada na Figura 34 fundamentou-se pela localização espacial das edificações.

Inicialmente, o projeto foi dividido em subprojetos ou localizações, a fim de possibilitar o gerenciamento por áreas de construção baseadas na estratégia de ataque da obra. Nesta etapa, realizando a divisão das CWAs, utilizou-se conceitos da construção enxuta, como segmentação do projeto em pequenos lotes e balanceamento da produção.

Figura 34 – Divisão das CWAs do projeto



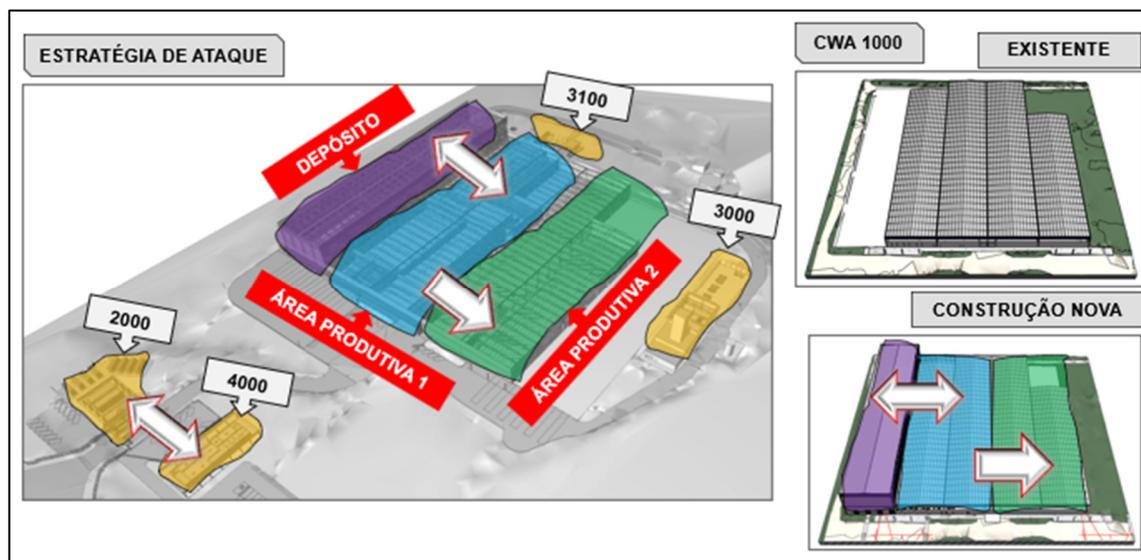
Fonte: elaborado pelo autor.

A infraestrutura externa, que compreende pavimentação, movimentação de terra e captação de águas pluviais, foi determinada como CWA 0000. A produção e depósito foi determinada como sendo CWA 1000, portaria e subestação como CWA 2000, prédio de reservatório de água, casa de bombas de incêndio e resíduos como CWA 3000, prédio de utilidades norte como CWA 3100 e o refeitório como sendo CWA 4000.

A execução da obra tinha como prazo 12 meses ao total, sendo que a área produtiva seria concluída em 8 meses. Conforme Figura 35, a estratégia de ataque consistia em duas frentes independentes: depósito e área produtiva. Além disso, a

edificação existente foi dividida em 2 módulos (área produtiva 1 e 2). As atividades são iniciadas no primeiro trecho, reaproveitando as mesmas equipes para o segundo.

Figura 35 – Estratégia executiva do empreendimento



Fonte: elaborado pelo autor.

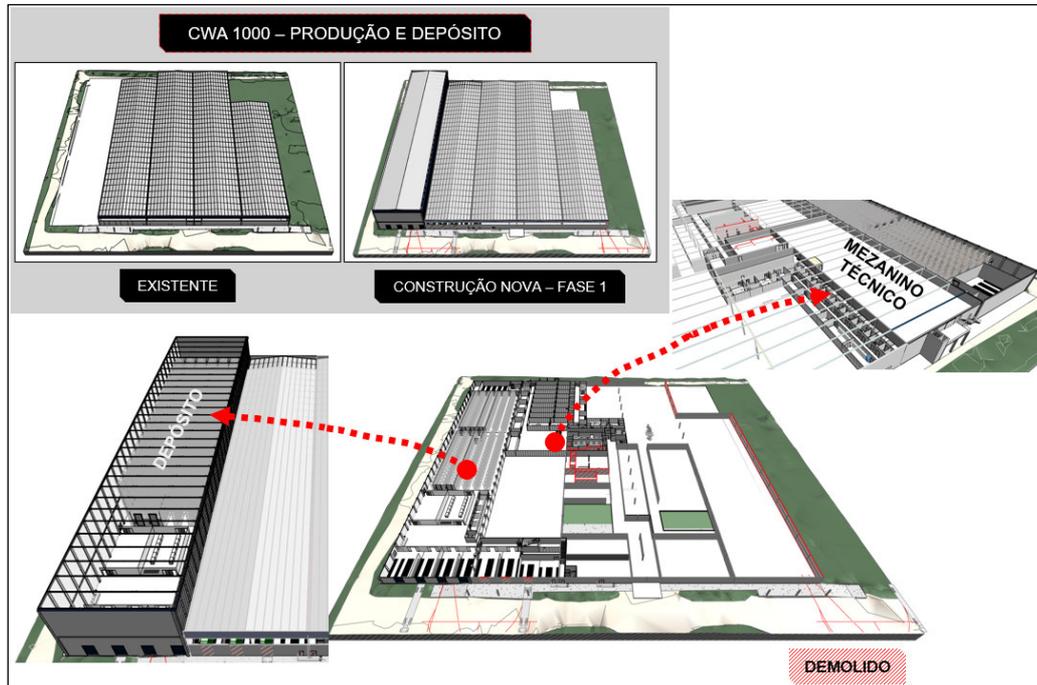
Os serviços da área externa e dos edifícios de apoio (portaria e subestação, reservatório de água e casa de bombas, utilidades e refeitório) deveriam ser realizados em paralelo com a edificação principal desde o início das atividades.

4.2.2 Definição dos Pacotes de Construção do Empreendimento

A partir das definições das localizações do projeto, foram traçados os fluxos de execução dos pacotes de construção (CWP). Esta etapa visa avaliar os caminhos da construção das CWPs com a finalidade de apontar os pacotes de trabalho necessários para a sua execução, que no caso são dependentes de suprimentos e engenharia para programação.

Conforme ilustrado na Figura 36, o projeto de reforma e expansão de planta industrial tinha por objetivo ocupar as áreas disponíveis laterais aos galpões existentes (almojarifado produto acabado e docas) e aumento da altura da cobertura possibilitando a construção de mezaninos técnicos conforme demanda, sem a construção de um segundo pavimento útil sobre todo o edifício.

Figura 36 – Escopo nas linhas de produção no prédio CWA 1000



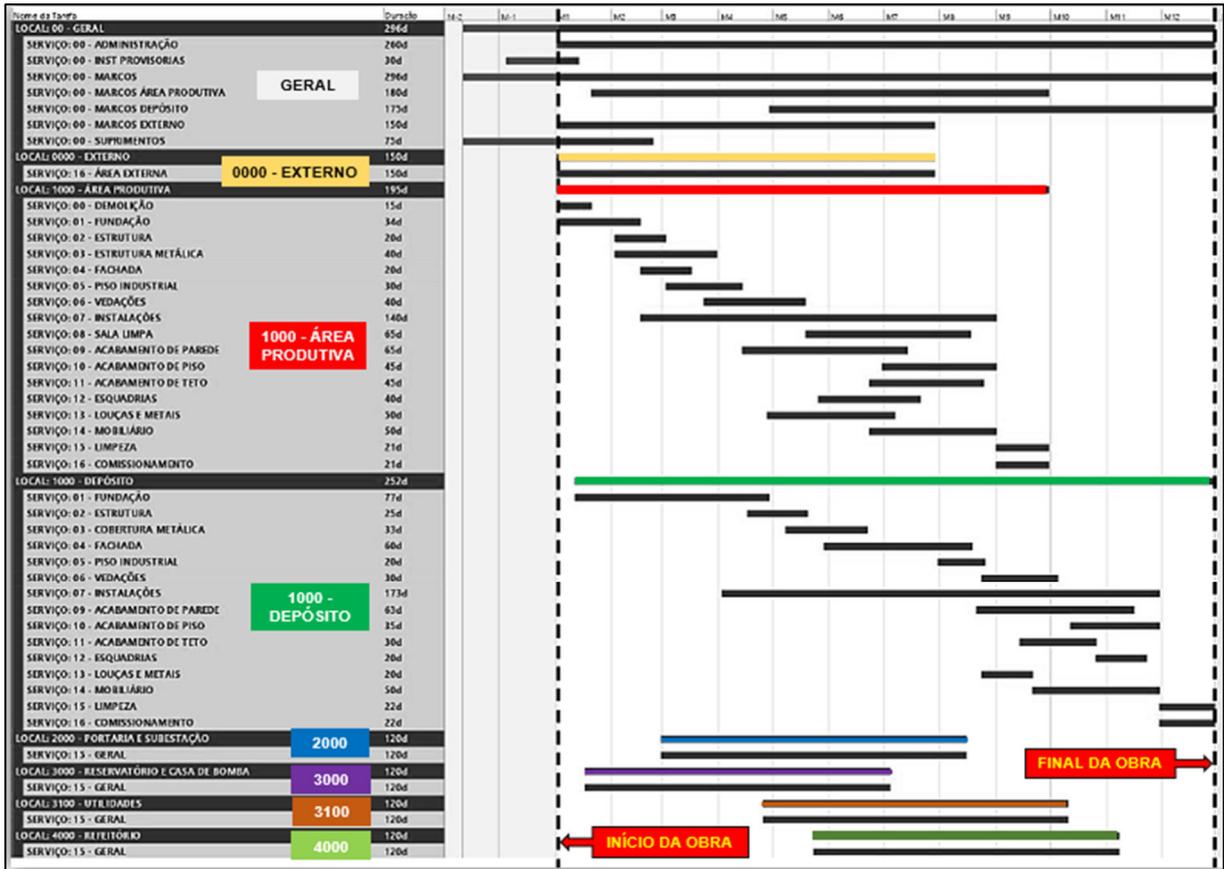
Fonte: elaborado pelo autor.

A estrutura-base do cronograma de médio prazo seguiu a organização demonstrada na Figura 37. Os pacotes de trabalho indicados compõem a atividade principal, sendo estas apropriadas em suas respectivas áreas de construção CWAs. Ao planejar a execução das atividades das CWP, é preciso retroceder os caminhos que são necessários para atendê-las, ou seja, os pacotes de IWP, PWP e EWP, respectivamente.

A sequência de execução é relativamente rígida. Os processos devem ser executados sequencialmente e com grande interdependência entre eles, de modo que qualquer atraso em uma das atividades reflète nas demais, já que não é desejável qualquer alteração na sequência programada, principalmente devido a restrições de acessos a algumas áreas que fazem parte caminho crítico de execução, como a montagem dos mezaninos e treliças espaciais da cobertura.

As redes de precedência possibilitaram visualizar o sequenciamento de forma que houvesse sobreposição entre as atividades, envolvendo o gerenciamento integrado das atividades de aquisição de materiais e instalação no cronograma de médio prazo.

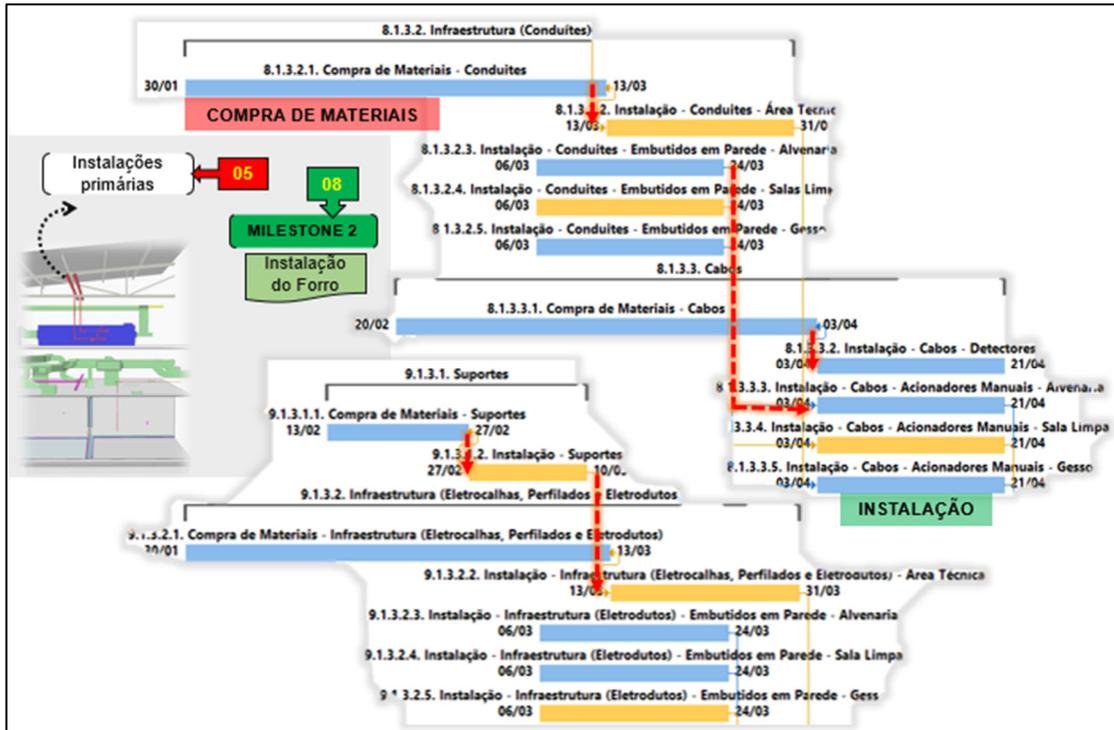
Figura 37 – Organização do escopo de construção



Fonte: Empresa.

Conforme a Figura 38, as atividades referentes às instalações dos principais sistemas (elétrica, tubulação, dutos, combate à incêndio, telecomunicações), iniciavam com a compra de materiais, que por sua vez era dependente das listas de quantitativos e especificações técnicas. Após a aquisição e recebimento, os serviços foram divididos de acordo com os locais de instalação dos sistemas (alvenaria, gesso, sala limpa).

Figura 38 – Redes de precedência no cronograma de médio prazo

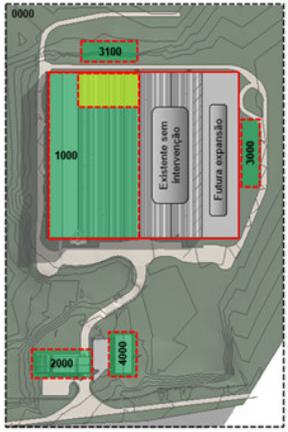


Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, foi possível detalhar os pacotes de construção em cada Área de Construção. Conforme Figura 39, as 7 Áreas de Construção relacionadas com as 15 disciplinas do projeto totalizaram 55 Pacotes de Construção. Para o nível de atividades da Figura 37, englobadas em cada CWP da Figura 39, foi adotado o número do pacote acrescido de dígitos numéricos sequenciados, como por exemplo: CWP02.1 – Estrutura - Fundações - Estacas.

As atividades que foram desenvolvidas pelo pesquisador no início do projeto tinham o propósito de elucidar as dúvidas da equipe de engenharia quanto aos critérios de organização das áreas de construção e compor a estrutura interna de engenharia para aplicar o modelo proposto na pesquisa.

Figura 39 – Matriz dos Pacotes de Trabalho de Construção (CWP)

	CWA	CWP - PACOTES DE TRABALHO DE CONSTRUÇÃO														CWP 01.01		
		IS	ST	AR	MC	PP	PB	HA	FF	EL	IN	TC	AM	FR	CU		BU	
		Infra	Structure	Arquitect.	Mechani.	Piping	Plumb.	HVAC	Fire Figh.	Electri.	Instrum.	Telec.	Autom.	Process	Clean Util		Black Util	
	0000 Infra Ext.	CWP01																
	1000 Produção		CWP02	CWP04	CWP10	CWP14	CWP19	CWP22	CWP26	CWP32	CWP38	CWP43	CWP48	CWP53	CWP54	CWP55		
	2000a Subestação			CWP05	CWP11			CWP23	CWP27	CWP33								
	2000b Portaria			CWP06		CWP15		CWP24	CWP28	CWP34	CWP39	CWP44	CWP49					
	3000 Reservatório, Casa de Máquinas, Resíduos			CWP07	CWP12	CWP16			CWP29	CWP35	CWP40	CWP45	CWP50					
	3100 Utilidades		CWP03	CWP08	CWP13	CWP17	CWP20		CWP30	CWP36	CWP41	CWP46	CWP51					
	4000 Refeitório			CWP09		CWP18	CWP21	CWP25	CWP31	CWP37	CWP42	CWP47	CWP52					
	Cronograma de nível A	Cronograma de nível B																

Fonte: elaborado pelo autor.

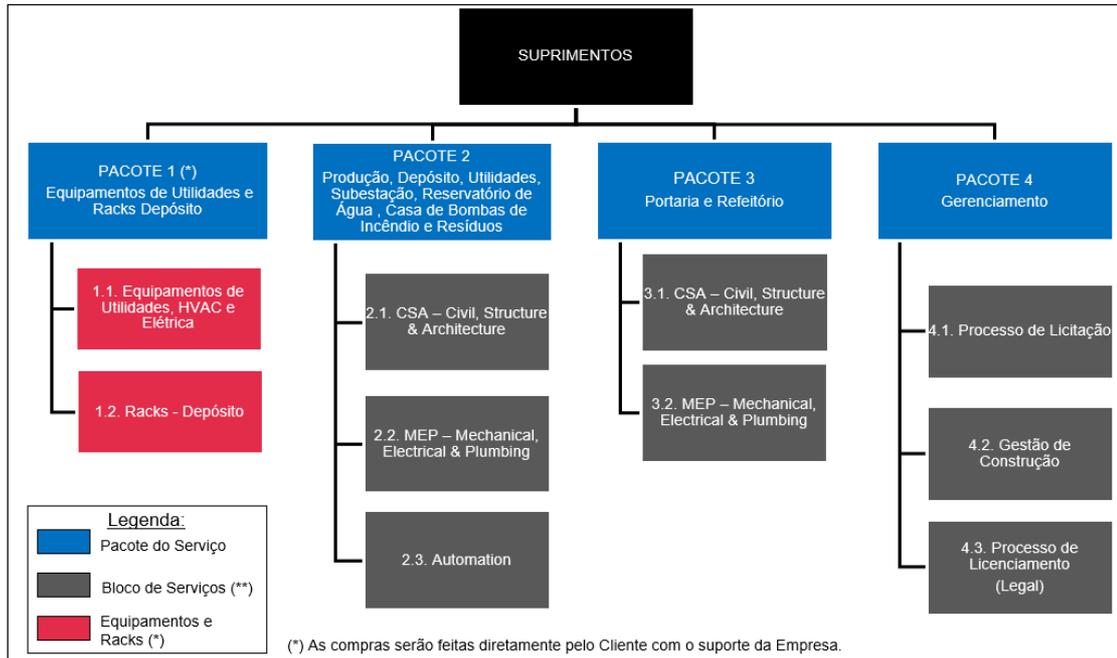
4.2.3 Organização dos Entregáveis de Suprimentos

Foram detalhados os documentos abaixo listados para que o Cliente pudesse negociar internamente com o departamento de suprimentos:

- fluxo de suprimentos: detalhamento das atividades, tempos e responsáveis com diferentes cenários em função do tamanho dos pacotes de aquisição (serviços e equipamentos);
- estratégia de suprimentos: organização dos pacotes;
- plano de suprimentos: desdobramento da estratégia, tendo como objetivo agrupar e detalhar os pacotes de aquisição, dando ao Cliente a visibilidade do volume de atividades a ser desenvolvida para o projeto.

A estratégia de suprimentos na Figura 40 foi adotada para o projeto considerando a divisão entre a contratação de pacotes de serviço e aquisição de equipamentos e materiais. O processo de aquisição de equipamentos e materiais classificou os mesmos em 2 categorias: (1) equipamentos de utilidades, HVAC e elétrica e (2) racks para o depósito. Cabe ressaltar que foi adotado o regime de contratação global, portanto, as empresas selecionadas para a fase de construção ficaram responsáveis pelo fornecimento de toda a mão de obra e materiais necessários.

Figura 40 – Estratégia de suprimentos



Fonte: elaborado pelo autor.

Os pacotes de serviço foram agrupados em outras 3 categorias: Pacote 2 – para as CWAs 1000 (produção e depósito), 3100 (utilidades), 2000 parcial (subestação), 3000 (casa de bombas de incêndio) as disciplinas de CSA (arquitetura, estrutura e infraestrutura civil), MEP (mecânica, elétrica e tubulação) e automação; Pacote 3 – envolvendo as CWAs 4000 (refeitório) e 2000 parcial (portaria); e Pacote 4 - gerenciamento, através dos processos de gestão da construção, aquisição e licenciamentos.

O plano de suprimentos, ilustrado na Figura 41, apresenta a estratégia de suprimentos até o nível de elementos a serem comprados e instalados na planta. Por esse motivo, tem como predecessora a listagem dos equipamentos que cada disciplina indicou em projeto. Além disso, fornece a decomposição dos pacotes de serviço com informações importantes para o controle das cotações e contratos de possíveis fornecedores.

Figura 41 – Plano de suprimentos

Item	Pacote	TAG	Qualificado / Não Qualificado	Escopo do Fornecimento	Equipamentos			Pacotes de serviço			Custo Planejado
					Data Pedido de Compra	Data Entrega	Tempo Entrega	Início Contrato	Final Contrato	Tempo Contrato	
1. Equipment and Materials											
1.1 Process Equipment											
1.1.1 Process Equipment (< 90 Days)											
1.1.1.1	Fume Hood	FHO 001 FHO	Qualified	Equipment and Service	2021-07-27	2021-11-29	125	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	R\$ -
1.1.2. Process Equipment (< 60 Days)											
1.1.2.4	Thermo-anemometer	INS 010	No Qualified	Equipment and Service	2021-09-08	2021-11-12	65	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	R\$ -
1.2. Utilities & HVAC Equipments											
1.2.1. Utilities Equipments											
1.2.1.2	Chiller	CH 001	No Qualified	Equipment and Service	2021-06-28	2021-12-02	157	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	R\$ -
1.2.2. HVAC Equipments (It will be evaluated the possibility to include in MEP Package)											
1.2.2.1	Air Handling Unit	AHU 01A	No Qualified	Equipment	2021-08-12	2021-10-18	67	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	R\$ -
1.2.3. Electrical (It will be evaluated the possibility to include in MEP Package)											
1.2.3.1	General Panel (Low Voltage) with Bus 380/220V Socket Distribution Panel with Bus 380/220V	QGF-01 QF-01	No Qualified	Equipment	2021-07-23	2021-11-25	125	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	R\$ -
2. CSA (Construction, Structure & Architecture) - Package 1 - Structure											
2.1. Material & Service											
2.1.1	CSA (Construction, Structure & Architecture) - Package 1 - Structure Material & Service	-	No Qualified	Service	2021-05-04	Not Applicable	Not Applicable	2021-06-02	2021-08-24	83	R\$ -

Fonte: elaborado pelo autor.

O TAG, além de identificar os equipamentos, tem fundamental importância no ciclo de vida do empreendimento. Durante uma das reuniões técnicas semanais, realizada posteriormente à emissão de grande parte da documentação para obra da disciplina de Instrumentação, a equipe de manutenção do Cliente solicitou a adequação dos TAGS ao padrão interno. A falta de padronização destes identificadores criaria dificuldades para o controle entre as diferentes unidades de produção instaladas, bem como durante a montagem dos equipamentos. Foi sugerido ao Cliente a atualização dos identificadores na fase de *asbuilt*, a ser realizada após a conclusão desta pesquisa, por responsabilidade das construtoras contratadas.

Foi apresentado ao Cliente um fluxo de suprimentos tradicional no qual o processo levaria em torno de 105 dias, contabilizando as atividades de responsabilidade da Empresa e do Cliente. Esse modelo tradicional não atendia a demanda do projeto e por essa razão foi proposto um modelo no qual o processo de aquisição iniciava juntamente com o projeto detalhado baseado em três principais etapas (definição da *vendor list*²¹, TIC e cotação).

Essa estratégia permitiu antecipar a curva de inclusão dos fornecedores no processo de aquisição e otimizar os tempos das etapas a serem cumpridas. Conforme

²¹ As três etapas correspondem à subdivisão de suprimentos, sendo a *vendor list* uma lista de todas as Empresas e prestadores de serviço recomendados no processo de aquisições.

Figura 42, foi necessário atualizar o plano de longo prazo com essa estratégia representada e o Cliente discutiu internamente a possibilidade de executar seus processos em 60 dias para viabilizar o início das obras em meados de outubro de 2022.

Figura 42 – Antecipação da montagem de equipamentos na produção



Fonte: Empresa.

A redução do prazo e das datas marcos do cronograma buscou antecipar a entrada dos equipamentos de responsabilidade do Cliente na área produtiva. A otimização dos prazos de suprimentos, principalmente relacionados a fabricação de montagem das peças pré-fabricadas, assim como estrutura civil, execução das salas limpas e suas instalações.

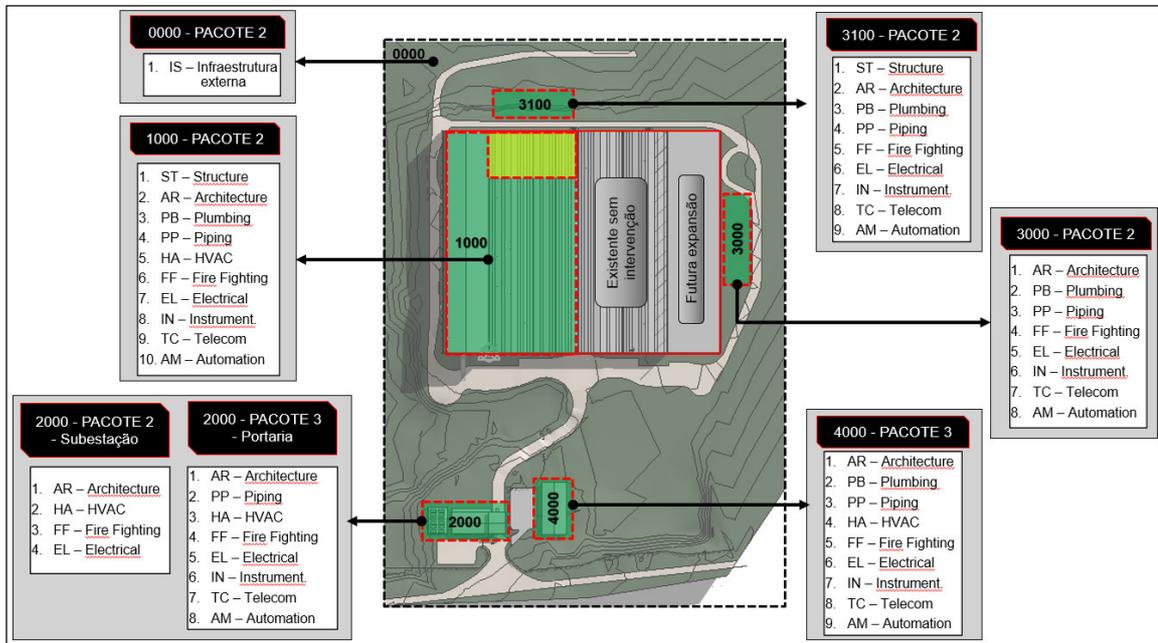
4.2.4 Organização dos Entregáveis de Engenharia

Semanalmente, a Lista de Documentos (LDOC) foi compartilhada com o Cliente, padronizada conforme citado no tópico 4.1.2 Definições do Projeto, e atualizada com os documentos desenvolvidos na semana anterior. Com isso, teve-se o benefício de antecipar a curva de aprendizagem das empresas contratadas em relação ao projeto em curso, melhorando a qualidade da informação e reduzindo os prazos para o processo de aquisição de suprimentos.

A organização dos pacotes de engenharia ilustrados na Figura 43 seguiu a divisão preliminar concebida no início do projeto pelo gerente do projeto e equipe de planejamento. A formatação dos EWPs em cada CWA foi importante para estabelecer a necessidade da liberação dos modelos BIM para o trabalho das equipes.

Anteriormente, os projetistas trabalhavam com um único modelo, o que acarretava redução do desempenho no uso.

Figura 43 – Organização dos pacotes de engenharia EWP



Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, foi possível detalhar os pacotes de engenharia em cada CWP. Conforme Figura 44 (a), as 7 áreas de construção relacionadas com as 15 disciplinas do projeto totalizaram 55 EWPs. Cada disciplina foi subdividida em: PLN (plantas, cortes, elevações e detalhes típicos) e LOE/BOM (listas de equipamentos/mobiliários, listas de materiais e listas de cabos). Tal divisão objetivou separar os desenhos que são diretamente consumidos pela obra das listas com quantitativos que inicialmente são utilizadas para cotação de preços, sendo assim, visualizadas pelos pacotes de suprimentos que a atividade requer.

Na Figura 44 (b) destaca-se a divisão da EWP 01 de Infraestrutura Externa, EWP02 de Estrutura e EWP04 de Arquitetura. O pacote EWP01 entregou plantas drenagem e arruamento e listas de material referente à movimentação de terra. O pacote EWP02 contemplou plantas de fôrmas, cortes, detalhes e listas de materiais, com divisão dos pacotes entre a CWA 1000 (produção e depósito) e CWA 3100 (utilidades).

Figura 44 – Matriz dos Pacotes de Trabalho de Engenharia

CWA	IS	ST	AR	MC	PP	PB	HA	FF	EL	IN	TC	AM	PR	CU	BU
	PLN LOE/ BOM														
0000 Infra Ext.	EWP01														
1000 Produção		EWP02	EWP04	EWP10	EWP14	EWP19	EWP22	EWP26	EWP32	EWP38	EWP43	EWP48	EWP63	EWP64	EWP65
2000a Subestação			EWP05	EWP11			EWP23	EWP27	EWP33						
2000b Portaria			EWP06		EWP15		EWP24	EWP28	EWP34	EWP39	EWP42	EWP49			
3000 Reservatório, Casa de Máquinas, Resíduos			EWP07	EWP12	EWP16			EWP29	EWP35	EWP40	EWP45	EWP50			
3100 Utilidades	EWP03	EWP08	EWP13	EWP17	EWP20			EWP30	EWP36	EWP41	EWP46	EWP51			
4000 Refeitório		EWP09	EWP18	EWP21	EWP25	EWP31	EWP37	EWP44	EWP52						

a)	CWA	IS	ST	AR	MC	PP	PB
	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM	PLN LOE/ BOM
b)	0000 Infra Ext.	EWP01					
	PLanta Movimen de terra						
c)	1000 Produção		EWP02	EWP04	EWP10	EWP14	EWP19
	PLanta Egpto + Ma	PLanta Materiais	Mobi + Cons + Piso	Mobi e Egpto + Mat	Egpto	Tubul + Det Tip	Materiais

Listas

- Pacote 2
 - Lista de Mobiliários e Equipamentos Menores
 - Envio Para Comentários
 - Recebimento de Comentários
 - Envio Para Aprovação
 - Recebimento de Comentários ou Aprovação
 - Envio Aprovado
 - Lista de Materiais - Arquitetura
 - Plantas
 - ▾ Plantas de Layouts
 - Plantas de Mobiliário
 - ▾ Produção

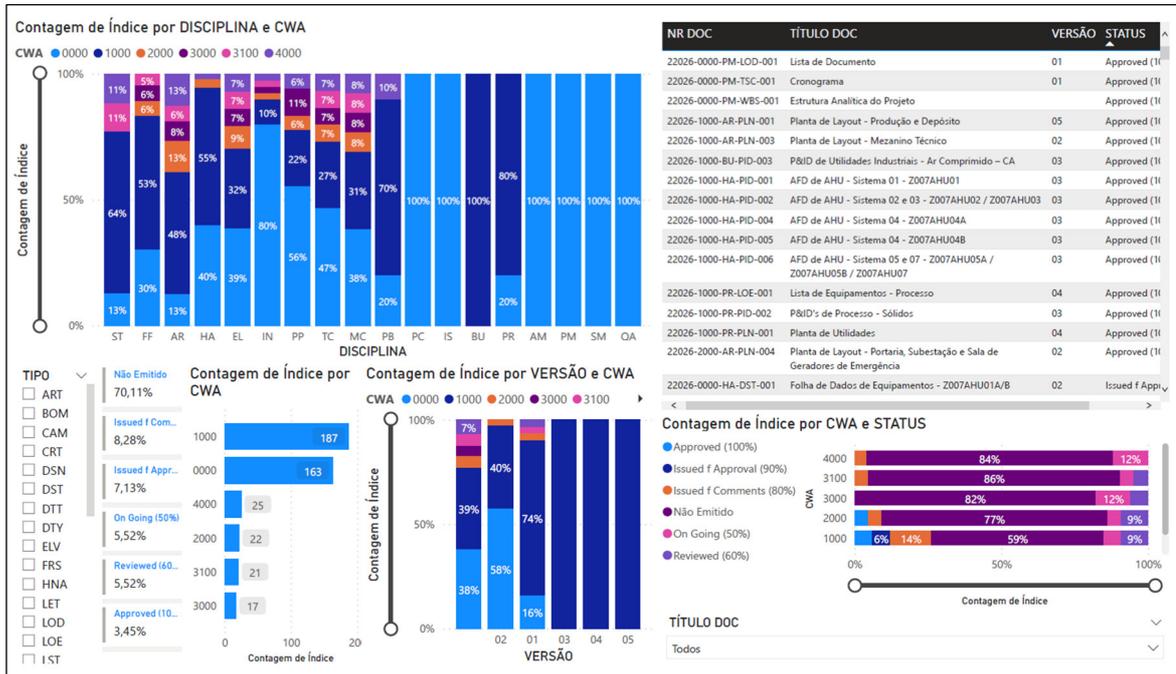
Fonte: elaborado pelo autor.

Por fim, na disciplina de Arquitetura, a qual apresentou o maior volume de documentação, todas as CWAs, exceto a 0000, tiveram pacotes de Engenharia - EWP04 até EWP09. Nesse caso, os entregáveis gráficos, conforme ilustrado na Figura 44 (c), consistiam em plantas de layouts, mobiliários, construção, demolição, piso e paginação de forro. Já as listas foram divididas em quantitativos de mobiliários, equipamentos menores e materiais.

Ademais, como a estrutura da LDOC não previa a divisão explícita por áreas de construção e assim sendo, não havendo um planejamento lógico de Engenharia baseado em localização e no fluxo puxado, a LDOC foi adaptada acrescentando parâmetros personalizados para compor um quadro *dashboard* de gestão visual para a equipe de planejamento (ver APÊNDICE B – DASHBOARD ENGENHARIA).

Conforme ilustrado na Figura 45, o dashboard possui uma organização de tabelas e gráficos com classificações de disciplinas, tipos de documentos emitidos pela engenharia, Área de Construção (CWA) e status dos documentos no fluxo de emissões.

Figura 45 – Quadro de gestão visual para documentos de engenharia



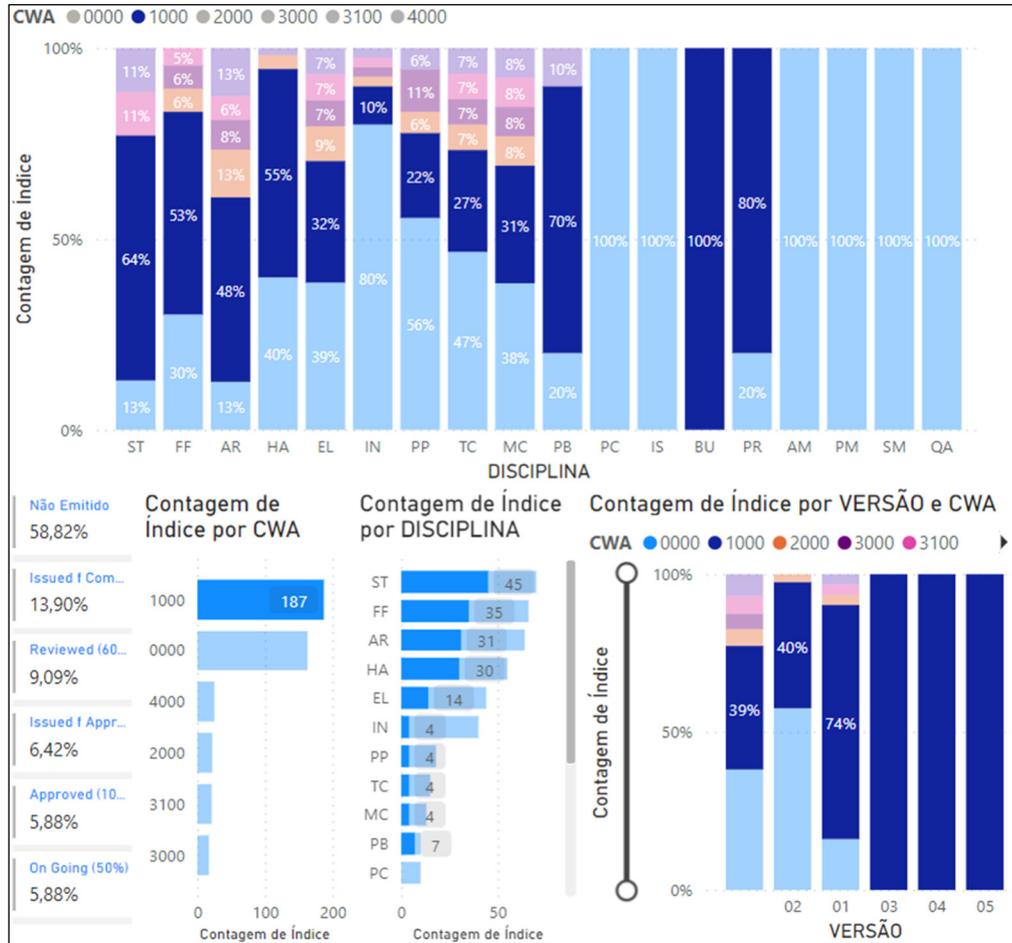
Fonte: elaborado pelo autor.

Antes da criação do quadro visual, a LDOC era um documento com uma grande quantidade de informação, mas que não promovia clareza na comunicação com a equipe, seja pela ausência de elementos de filtragem ou pelo elevado volume de documentos e ciclos de aprovação. Conforme Figura 46, verifica-se a grande quantidade de documentação de engenharia emitida durante os 2 meses de projeto.

A maior quantidade de documentos englobava as CWAs 0000 e 1000, sendo a infraestrutura externa e o prédio de produção e depósitos, respectivamente. Cabe ressaltar que determinados tipos de documentos entregáveis, por não serem específicos de uma única área de projeto, foram alocados na CWA 0000. Portanto, a CWA 1000 continha a maior quantidade de documentos, com aproximadamente 43% do total do projeto.

Com relação às disciplinas de projeto, tem-se que o maior volume de documentos estava, em ordem decrescente, em estruturas (ST), combate à incêndio (FF), arquitetura (AR), HVAC (HA), elétrica (EL) instrumentação (IN), tubulação (PP), telecomunicações (TC), mecânica (MC), instalações hidrossanitárias (PB), infraestrutura (IS) e automação (AM).

Figura 46 – Quantidade de documentos por Área de Construção



Fonte: elaborado pelo autor.

Ademais, conforme demonstrado, verifica-se que dos 187 documentos que foram gerados na CWA 1000, 141 documentos (75,4% deles) são relacionados às disciplinas de ST, FF, AR e HA. Exceto para as documentações globais alocadas na CWA 0000, em todas as disciplinas do projeto a maior quantidade de entregáveis sempre foi na CWA 1000, visto ser a maior área do empreendimento.

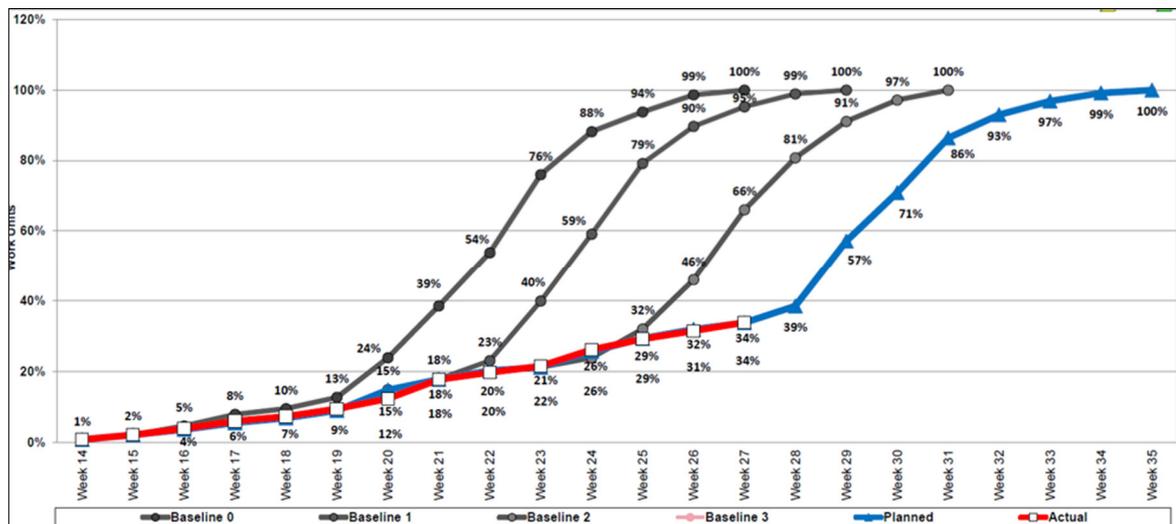
À vista disso, entende-se que a divisão de CWAs realizada no projeto com o único critério de localização espacial no canteiro criou um desbalanceamento de volume de documentação para a Engenharia em cada área. Assim, a CWA 1000 poderia ter sido subdividida em mais áreas, tornando os pacotes de desenhos nivelados ao longo do caminho de construção.

As entregas dos documentos de engenharia foram controladas através da Curva S, sendo reportada semanalmente ao Cliente. Conforme Figura 47, o cronograma estabeleceu duas curvas de linha de base: “Linha de Base 0 (*Baseline*

0)”, que se tornou obsoleta após a mudança de escopo na sexta semana de projeto (semana 19) e “Linha de Base 1 (*Baseline 1*)”.

Durante a nona semana de projeto (semana 22), a Empresa precisou replanejar as entregas devido a atrasos na aprovação de layouts das áreas por parte do Cliente, gerando assim a terceira curva, a “Linha de Base 3 (*Baseline 3*)”. As curvas de tempo planejadas e de acompanhamento (atual) passaram a refletir os esforços de conclusão do projeto após este terceiro cenário.

Figura 47 – Curva S de pacotes de engenharia



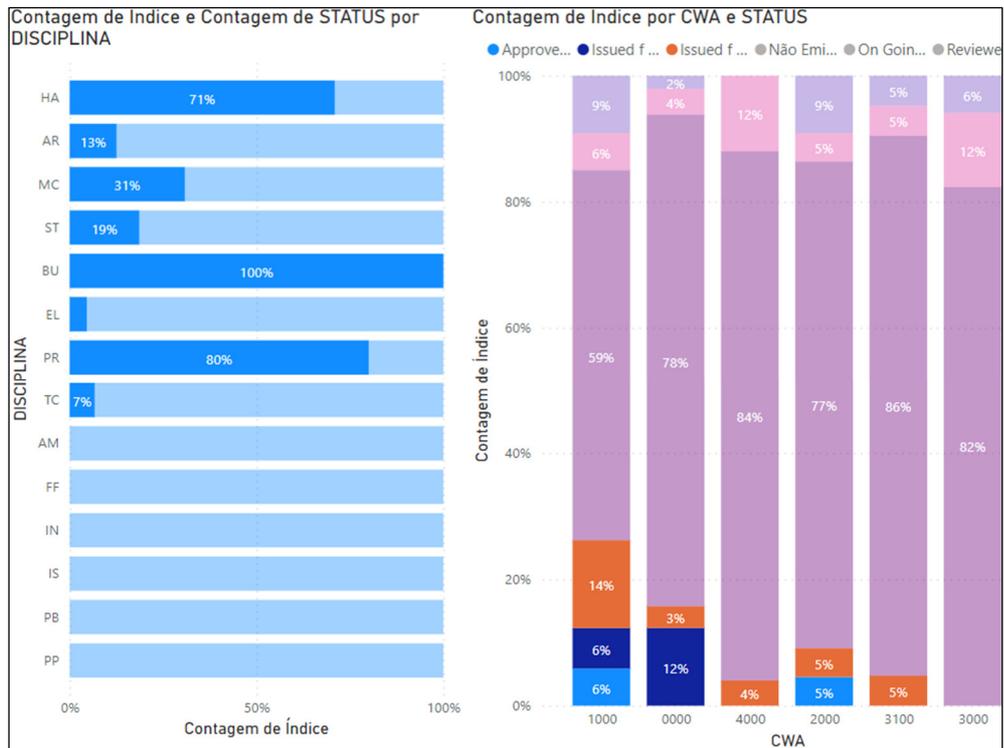
Fonte: elaborado pelo autor.

Para dar suporte ao controle no fluxo de documentos de Engenharia, foi criado o quadro de emissões e status. Conforme Figura 48, os estados dos documentos indicavam o progresso de cada um dentro de sua disciplina. Os status mapeados pela equipe de planejamento eram: não emitido, revisado, em andamento, enviado para comentários, enviado para aprovação, cancelado e aprovado.

Verifica-se que em determinado momento do projeto, especificamente na semana 14, as frentes com maior progresso²² eram de utilidades industriais (BU), processos (PR), HVAC (HA) e mecânica (MC). As disciplinas com a menor quantidade de documentos não emitidos, ou seja, que não tiveram nenhuma ação por parte da equipe, eram de HVAC, com somente 16% de documentos não emitidos e mecânica, com somente 8%.

²² Progresso medido considerando documentos aprovados, enviados para aprovação ou enviados para comentários do Cliente.

Figura 48 – Status de documentos de Engenharia



Fonte: elaborado pelo autor.

De modo contrário, as disciplinas de automação (AM), combate a incêndios (FF), instrumentação (IS), instalações hidrossanitárias (PB) e tubulação (PP) estavam com baixa taxa de progresso nesta fase de projeto. Elétrica (EL), apesar do baixo andamento de documentação, possuía inúmeras disciplinas predecessoras como restrição, bloqueando o início dos esforços da equipe de engenheiros eletricitistas.

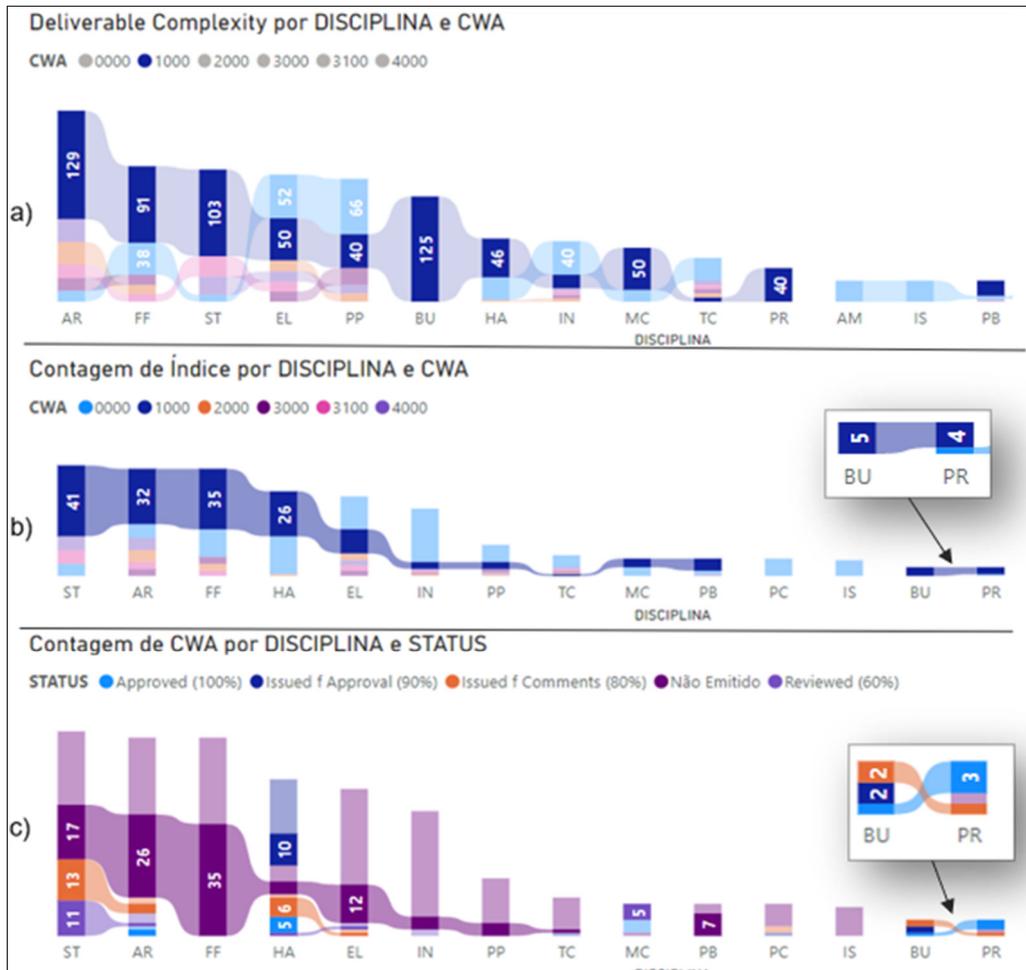
Além do sequenciamento de documentos de engenharia que prioriza as atividades predecessoras, no início do projeto a equipe de planejamento classifica o trabalho das disciplinas pela complexidade das entregas de engenharia.

De acordo com a Figura 49 (a), em análise para a CWA 1000, a disciplina com maior complexidade é arquitetura (129), seguida de utilidades industriais (125), estrutura (103) e combate a incêndios (91). Na Figura 49 (b), conforme anteriormente exposto, as disciplinas com maior quantidade de documentos são estrutura, combate a incêndios, arquitetura e HVAC.

Entretanto, na Figura 49 (c) verifica-se que maior parte de documentos de estrutura (17), arquitetura (26) e combate a incêndios (35) não haviam sido emitidos na semana 14 do projeto. Por exemplo, o maior esforço em HVAC, uma das disciplinas

com maior avanço com 21 documentos com mais de 80% de progresso, foi devido à quantidade de entregáveis e não pela complexidade.

Figura 49 – Quantidade e complexidade de documentos por disciplina



Fonte: elaborado pelo autor.

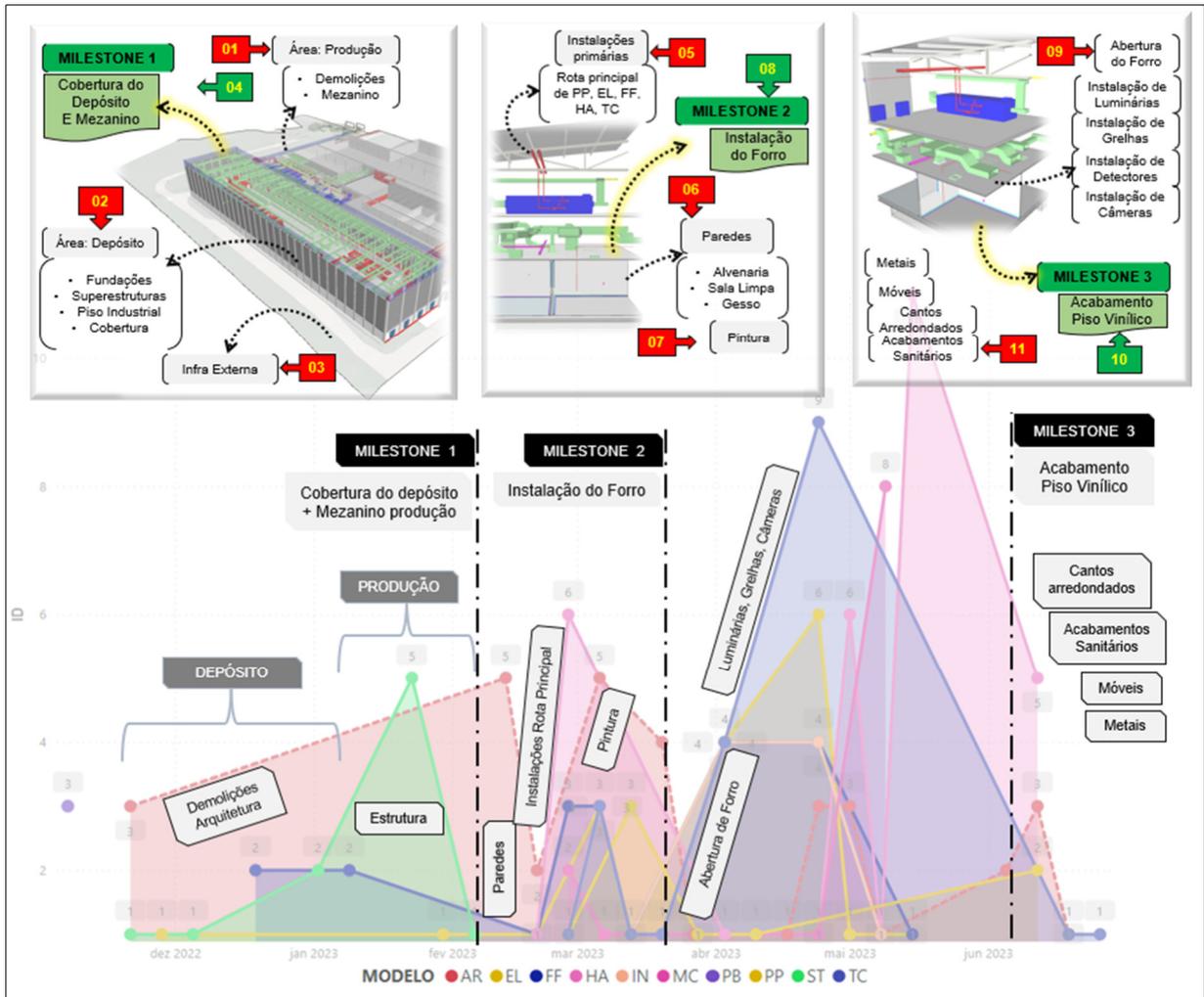
Conforme anteriormente exposto, as disciplinas de utilidades industriais e processo tiveram os maiores progressos, em relação à quantidade de documentos. Nesses dois casos, justifica-se tal evolução por serem disciplinas predecessoras, pois ambas representavam a menor quantidade de documentação do projeto. Todavia, BU possuía a segunda maior complexidade para a CWA 1000, logo a sua priorização justificava-se.

Assim sendo, o quadro visual elaborado demonstra a dependência dos dois fatores na ordem de priorização de documentos de engenharia: quantidade e complexidade. O status de progresso indica as falhas na condução dos esforços nas equipes e possibilita tomar medidas corretivas nas disciplinas gargalos durante o projeto.

4.2.5 Organização dos Entregáveis de Instalação

O plano de médio prazo foi elaborado como uma rede CPM no *MS Project*. Inicialmente, os processos críticos foram determinados de acordo com o sistema de localização da CWA 1000 apresentados na Figura 50.

Figura 50 – Principais eventos nos fluxos de trabalho CWA 1000



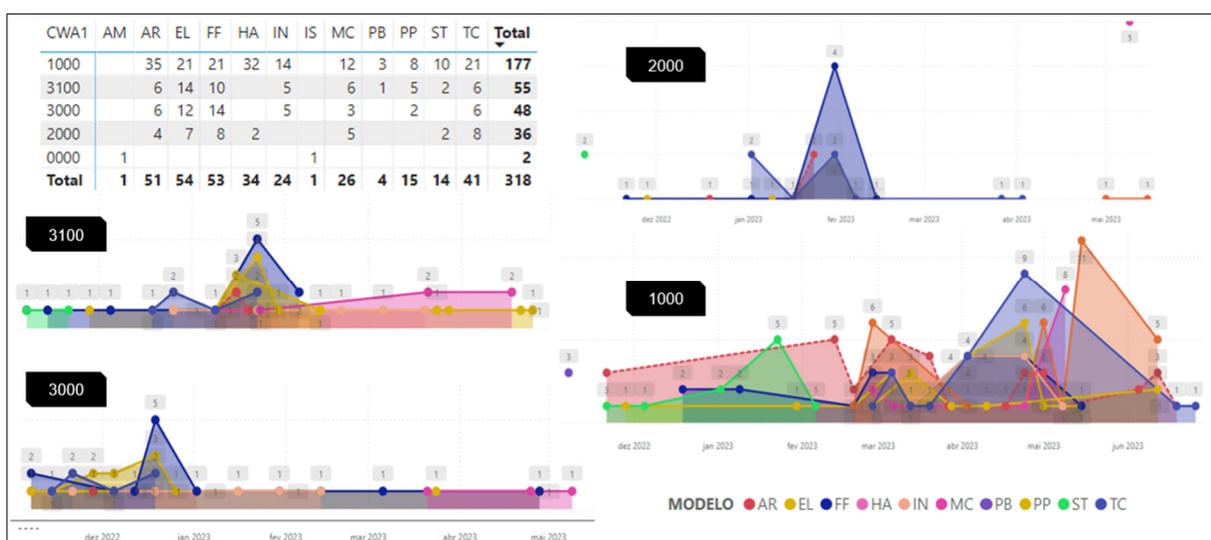
Fonte: elaborado pelo autor.

Foram estabelecidos 3 *milestones* de projeto (setas 04, 08 e 10), representativos de grandes divisores de fases de execução, e 8 eventos intermediários que se relacionam aos pacotes de construção de 3º nível. O sequenciamento foi apresentado para o Cliente com 2 meses de antecedência à fase de construção. Este procedimento representa uma tentativa de estabelecer as prioridades nas frentes de trabalho para alcançar o prazo de obra previamente estabelecido.

Conforme ilustrado na Figura 51, o quadro visual das áreas agrupadas no pacote 2 de serviços demonstra a quantidade de serviços a serem executados durante a etapa de construção. Verifica-se que o maior volume de atividades estava localizado na CWA 1000, 3100, 3000 e 2000, nesta ordem. As 2 atividades mapeadas para a área 0000 tratavam dos serviços de infraestrutura externa e automação, este último por não estar vinculado à nenhum local no cronograma.

Cabe ressaltar que os pacotes de serviços correspondem às atividades vinculadas ao modelo 4D, sendo este útil para o planejamento dos fluxos de trabalho no canteiro. Apesar de sua importância para análise de restrições no médio prazo, o modelo representa uma pequena parcela do mapeamento de restrições de responsabilidade das empreiteiras.

Figura 51 – Linha do tempo para pacote 2 de serviços



Fonte: elaborado pelo autor.

Com relação as atividades representadas no modelo, estas representam 27% da totalidade de pacotes de trabalho indicados no cronograma de médio prazo, ou seja, 73% são serviços de pacotes de suprimentos (materiais e equipamentos), pacotes de engenharia e pacotes de mão de obra, este último sendo detalhado pela Empresa que irá executar o pacote de construção previsto. Nota-se, portanto, a ausência de um processo sistemático de análise de restrições no médio prazo.

Com esta análise foi possível identificar que, apesar de fazer parte do projeto do sistema de produção tradicionalmente utilizado pela Empresa, o cronograma de rede apresenta algumas limitações:

- a) falta de definição de lotes para a realização das atividades: o plano não considera quantitativos para dimensionamento dos recursos;
- b) falta de planejamento dos fluxos físicos no canteiro: diagrama de rede limita o planejamento à definição de relações de precedência e dificulta a visualização de fluxo;
- c) dificuldade em visualizar o sequenciamento e interferências entre as atividades nas localizações de trabalho: o plano, apesar de estruturado pela divisão hierárquica de áreas, não considera as interfaces entre equipes na mesma estação de trabalho a fim de analisar o fluxo na busca da sincronização;
- d) dificuldade em estimar o ritmo de produção: apesar dos prazos das atividades de nível macro serem acordadas com o Cliente, quando detalhadas no médio prazo, não há um processo sistêmico para discutir taxas de produção com as subcontratadas.

4.3 ESTÁGIO B – UTILIZAÇÃO DOS MODELOS 4D E LINHA DE BALANÇO

A segunda parte do estágio B desenvolvido explorou a modelagem BIM no suporte à fase de engenharia e suprimentos e a utilização do BIM 4D e linhas de balanço como ferramentas para controle e visualização dos fluxos produtivos.

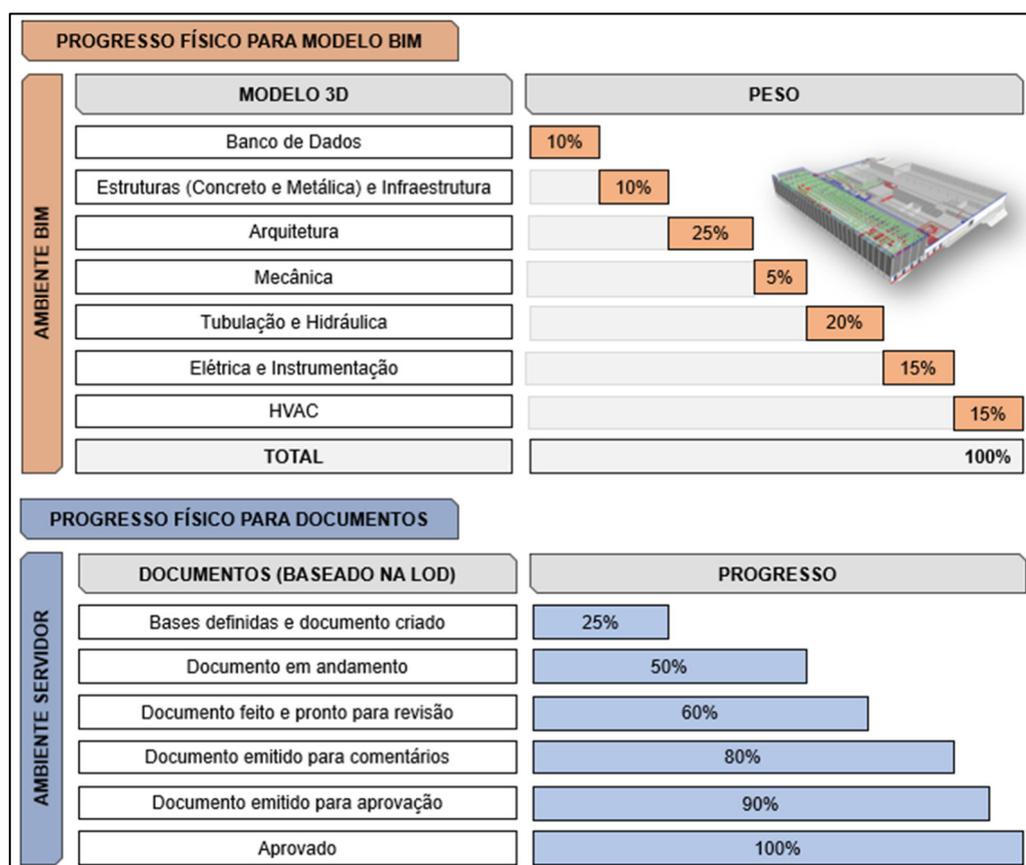
4.3.1 Modelagem BIM 3D

Todos os projetos elaborados pela Empresa e subcontratados foram desenvolvidos em softwares de modelagem BIM. A concepção arquitetônica e projetos eletromecânicos utilizaram *software* Autodesk Revit e a análise estrutural e o dimensionamento da estrutura foram modelados no *software* CAD/TQS e posteriormente convertidos para o Revit no ambiente colaborativo em nuvem utilizado pelas equipes. Foi adotada para a etapa de projeto detalhado a LOD mínima de 300, dada a maturidade e controle de qualidade elevada necessários para a correta extração de informações.

Toda a documentação do projeto, vinculada ao planejamento do projeto, gerenciamento e entregáveis para a obra (pranchas e listas), foi compartilhada com o Cliente e subcontratados através de dois ambientes denominados de BIM e servidor.

Conforme Figura 52, os ambientes BIM e servidor são caracterizados pelo acompanhamento do progresso de evolução do modelo 3D e da documentação, respectivamente. Enquanto no ambiente BIM a evolução dos modelos indicam o peso de cada disciplina em relação ao projeto, no ambiente servidor, o estado de cada documento indica o progresso das equipes no que se refere à aprovação dos entregáveis junto ao Cliente e subcontratados.

Figura 52 – Caracterização do ambiente BIM e servidor



Fonte: elaborado pelo autor.

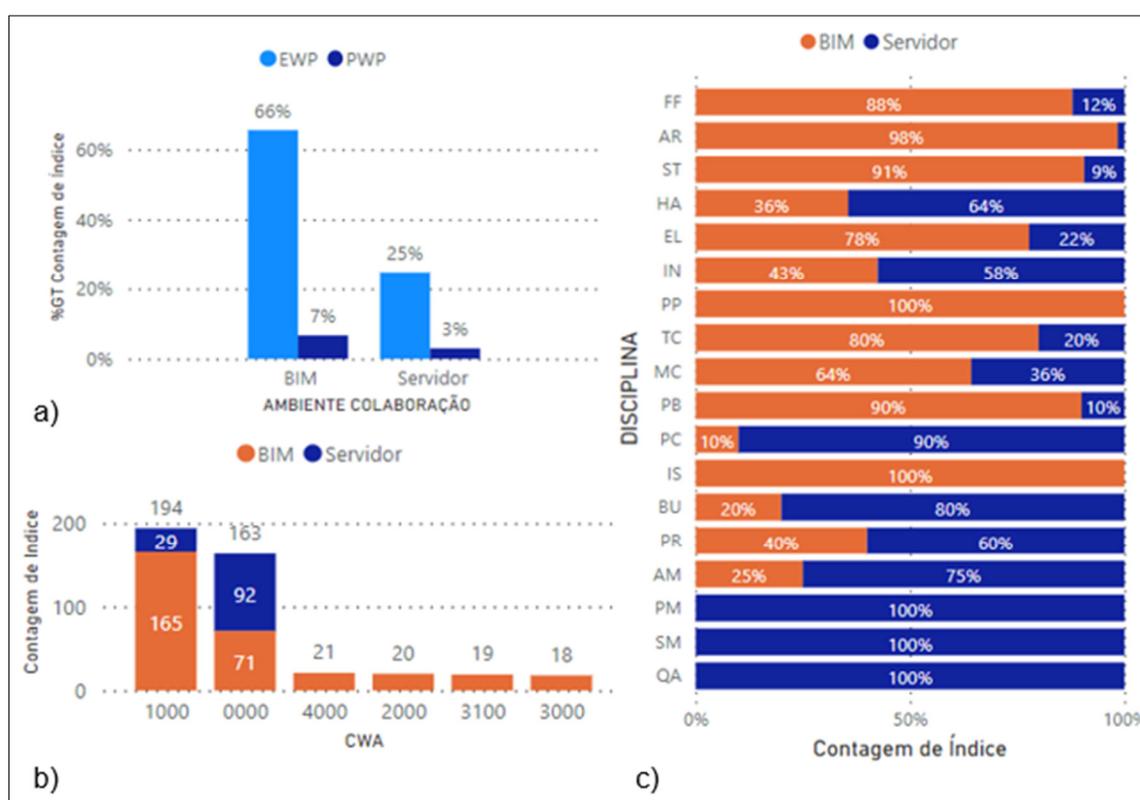
Conforme Figura 53 (a), o BIM foi o principal ambiente do projeto, com precisamente 72% da documentação de engenharia e suprimentos. Verifica-se que os pacotes de PWP possuem baixa relevância em termos de volume de trabalho, somando 10% do total dos pacotes de engenharia e suprimentos.

Verifica-se na Figura 53 (b) que a divisão das CWAs, durante o planejamento da etapa de engenharia detalhada, apresentou falhas na apropriação da documentação. Não houve criação de documentação no servidor nas CWAs 2000, 3000, 3100 e 4000 pelo fato de que listas de equipamentos e materiais foram

incorretamente alocadas na CWA 0000, gerando desvios no controle do processo de aquisição e execução dos pacotes de trabalho.

Entre as 18 disciplinas mapeadas conforme Figura 53 (c), exceto para as relacionadas ao planejamento do projeto (PC, PM, SM, QA) que não possuem relação direta com os modelos de projeto, percebeu-se uma predominância do uso do ambiente de criação em BIM. Somente nas disciplinas de HVAC, IN, BU, PR e AM o servidor foi mais utilizado para criação de documentação. Em contrapartida, as disciplinas de tubulação e infraestrutura externa desenvolveram toda sua documentação em BIM através do Revit.

Figura 53 – Quantidade de documentos por ambiente de colaboração



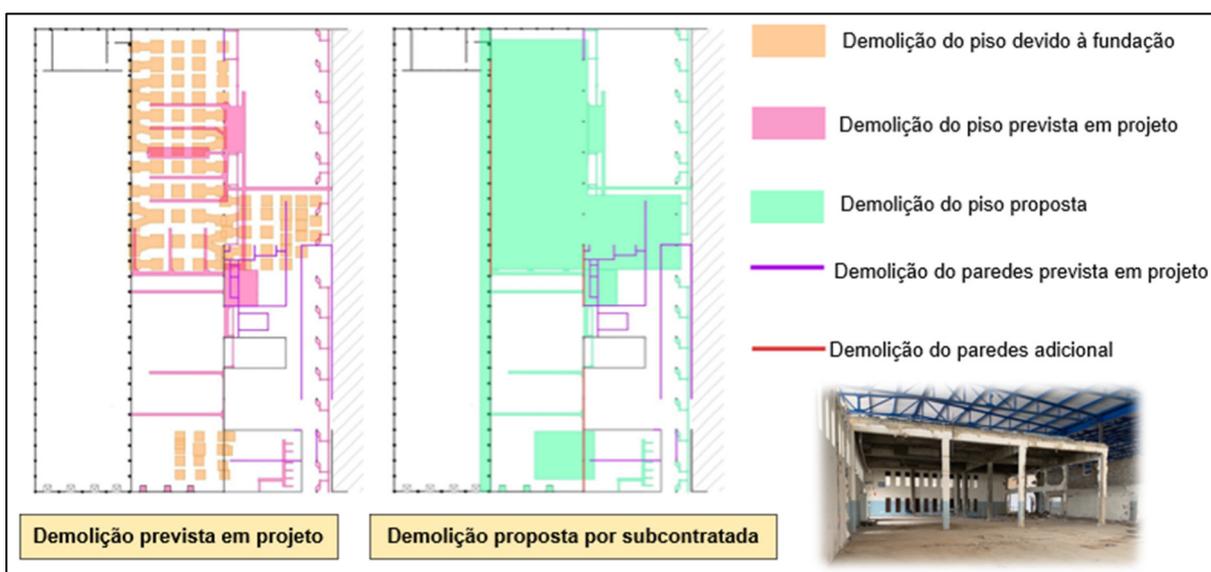
Fonte: elaborado pelo autor.

Cabe ressaltar que, apesar de serem ambientes distintos, todo o fluxo de aprovação de documentos de engenharia foi transmitido pelo servidor. Portanto, houve fragmentação entre os ambientes de criação e aprovação, o que gerou tarefas manuais e aumento de quantidade de etapas dentro do fluxo.

No decorrer da modelagem 3D foram identificadas necessidades de alterações no modelo para facilitar o controle da informação, inclusive durante o processo de cotação com as subcontratadas. Foi o caso, por exemplo, da demolição prevista em

projeto na produção e depósito ilustrada da Figura 54. De acordo com os projetos, a demolição do piso seria parcial, apenas nos locais necessários para a execução da fundação, posteriormente. Contudo, uma das empresas subcontratadas, ainda durante o processo de cotação, adotou a demolição completa do piso e sua posterior execução. Além do piso, algumas paredes mantidas no projeto precisaram ser demolidas por interferirem no serviço de fundação.

Figura 54 – Modelagem do faseamento de obra



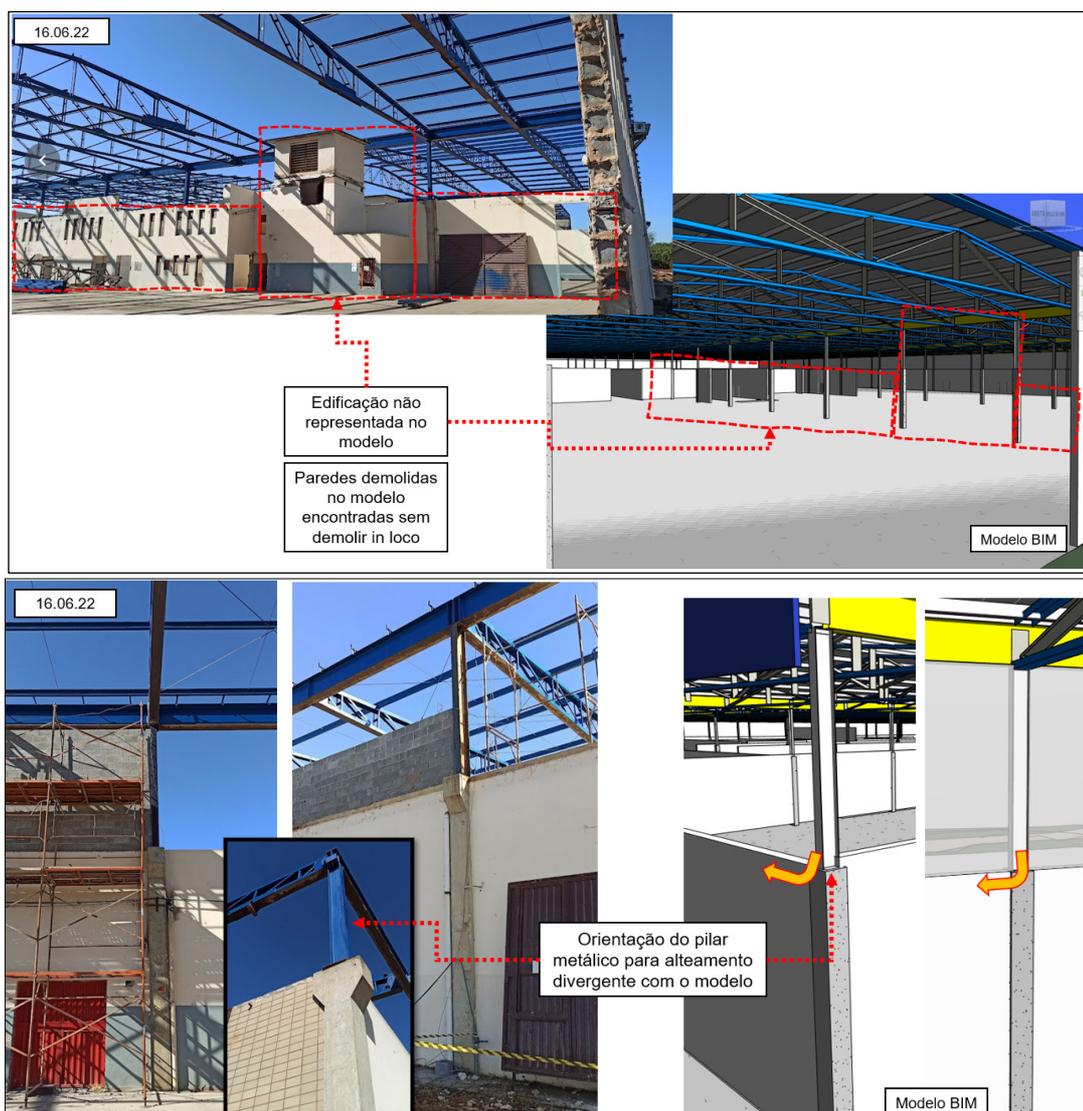
Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme Figura 55, estruturas internas de alvenaria, que não estavam representadas no modelo BIM desenvolvido a partir da documentação disponibilizada pelo Cliente, foram identificadas, ocasionando desvios nos projetos de Engenharia da Empresa e na sequência construtiva de demolição.

Contudo, durante visita técnica na obra foi possível verificar que algumas paredes foram demolidas além do que havia sido planejado. Estas foram identificadas e apontadas para a equipe responsável em campo, além da indicação de demolição ou restauração de estruturas em concreto com problemas de manifestações patológicas, com armaduras expostas e oxidadas.

Além disso, a orientação dos pilares metálicos do alçamento adotada nos modelos BIM estava discordante com a conferência em campo. O sentido de locação dos pilares indicava a posição da alma do perfil metálico paralela à fachada frontal. Após a identificação desta condição, a equipe de arquitetura precisou reconsiderar o acabamento de parede na altura do mezanino técnico.

Figura 55 – Divergências entre modelo BIM e conferência no canteiro



Fonte: elaborado pelo autor.

Nesse sentido, a qualidade da dinâmica dos fluxos de informações entre os membros da equipe foi um importante fator na redução de inconsistências nos modelos. Verifica-se a aplicação de características enxutas no processo de projeto, como a exploração da colaboração, pequenos lotes de informação promovidos pelos pacotes de construção e ciclos curtos de revisão e resposta. O fluxo de informações com transações frequentes leva a um projeto com informações de maior qualidade.

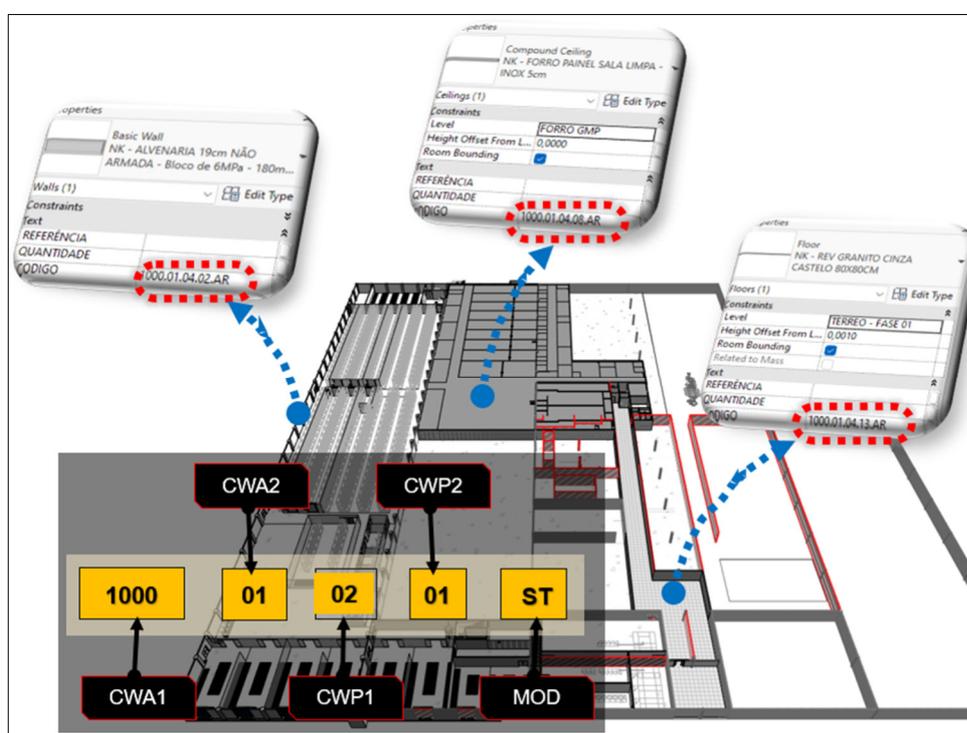
4.3.2 Planejamento da Construção Utilizando o BIM 4D

A modelagem da informação no ambiente 3D desempenhou fundamental importância na classificação dos componentes do projeto para dar suporte ao modelo

4D do empreendimento. Tal classificação foi possível através da manipulação de parâmetros personalizados dentro dos modelos, ou seja, códigos para vinculação dos elementos às suas respectivas atividades do cronograma.

Os códigos utilizados para identificar cada componente no modelo 3D foram indicados posteriormente ao trabalho das disciplinas e da criação do cronograma pelo gerente do projeto e planejador. A Figura 56 fornece exemplos de códigos utilizados no modelo de arquitetura para identificação dos pacotes de construção de alvenaria externa, forro de gesso para sala limpa e revestimento cerâmico para piso.

Figura 56 – Codificação em componentes do modelo de arquitetura



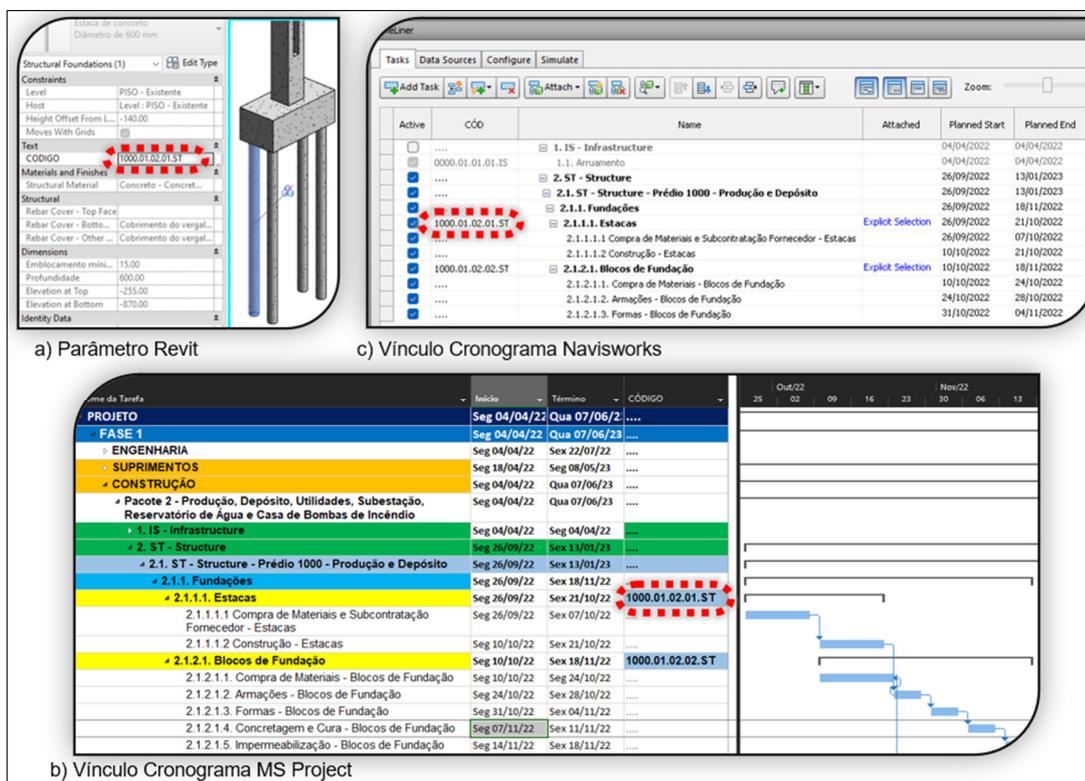
Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme ilustrado, a estrutura do parâmetro é composta pela CWA, CWP e disciplina, havendo na área de construção e nos pacotes de construção uma subdivisão que possibilitou um segundo nível hierárquico no planejamento dos locais de trabalho.

Este plano de modelagem orientado ao planejamento permitiu a vinculação automática entre o modelo BIM, o cronograma de médio prazo e o *software* Navisworks utilizado para o planejamento 4D. Conforme Figura 57 (a), a individualização dos códigos acompanhou as atividades do cronograma até o nível de pacote de construção CWP.

A decisão de manter a identificação dos elementos até o horizonte de médio prazo, conforme Figura 57 (b), deve-se ao fato de que a quebra dos pacotes de construção em pacotes de instalação IWP foi realizada pelas equipes subcontratadas em período posterior à conclusão desta pesquisa. Além disso, como o modelo da fase de engenharia detalhada fora herdado do projeto conceitual, muitos elementos foram modelados sem a divisão requerida para o planejamento semanal exigido em pacotes de frentes de serviço.

Figura 57 – Interface entre plataformas de planejamento e modelo BIM



Fonte: elaborado pelo autor.

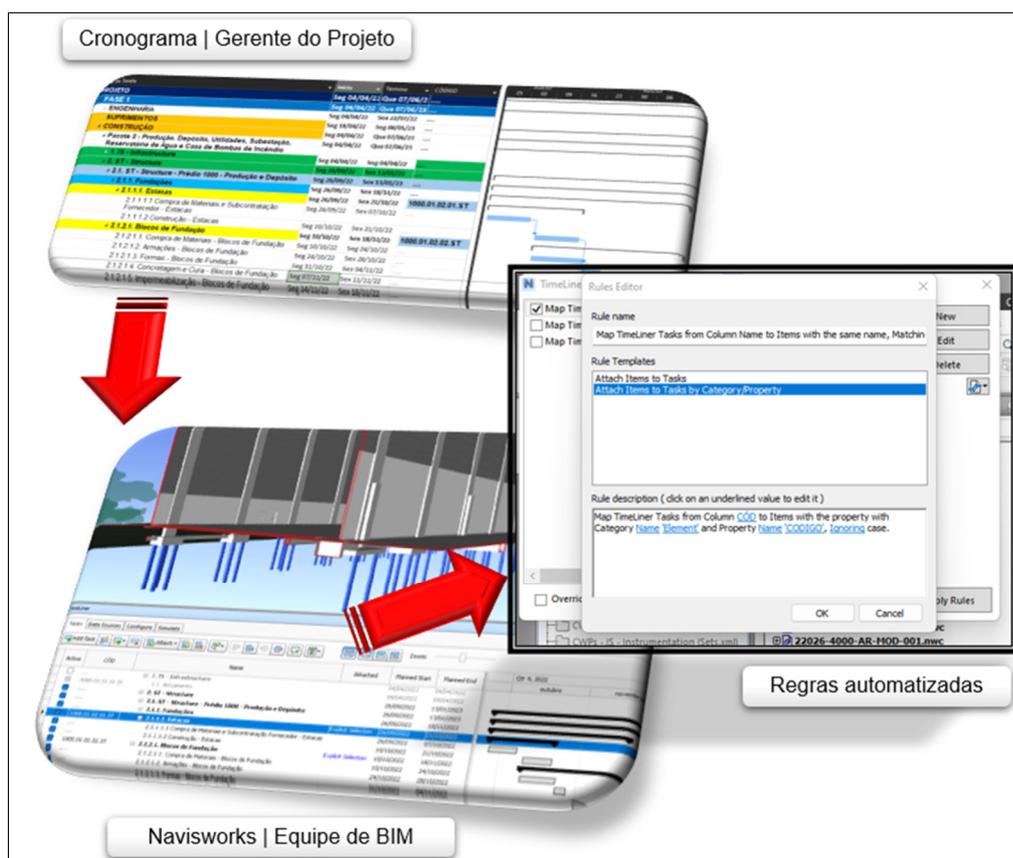
Após a importação do cronograma no ambiente do Navisworks ilustrado na Figura 57 (c), o código indicando os pacotes de construção serviram de base para atribuição aos respectivos elementos envolvidos.

A automatização do processo de relacionamento entre elementos e atividades ilustrado na Figura 58 viabilizou o desenvolvimento de todo o fluxo de modelagem 4D através de uma equipe suficientemente enxuta: o gerente do projeto e o gerente de BIM. Enquanto o gerente do projeto desenvolveu o cronograma de longo e médio prazo, o gerente de BIM estruturou e organizou o modelo 4D, através da vinculação dos elementos do modelo BIM com as atividades do cronograma.

Porém, cabe ressaltar que as reuniões de planejamento de longo e médio prazo necessárias para tomada de decisão sobre os fluxos físicos envolvidos na execução das atividades e organização logística de suprimentos foram realizadas com uma equipe maior, envolvendo a gestão da obra, projetistas internos, subcontratados e o Cliente.

Entretanto, os atrasos na fase de engenharia dificultaram uma maior interação com as equipes de instalação subcontratadas. A linha de base do cronograma fora concebida com as etapas em suas datas do marco final definidas, assim como os pacotes de atividades. Porém, a definição de lotes de produção e sequência de execução não foram discutidas com as equipes de instalação durante a fase de engenharia, comprometendo o atendimento dos prazos e mapeamento completo de restrições.

Figura 58 – Automatização do processo de vínculo de atividades e elementos



Fonte: elaborado pelo autor.

Além disso, apesar do processo de modelagem e planejamento, a gestão das informações e suas interrelações apresentou pontos de dificuldades. Conforme Figura 59, em decorrência da ausência no cronograma de médio prazo de pacotes de portas

de acordo com seu tipo (como porta corta fogo e porta de aço) (Figura 59a), a atividade CWP 04.16 (portas de madeira), passou a agrupar todos os demais materiais (Figura 59b). Outros elementos, como escada pré-moldada, guarda corpo e racks do depósito também não foram relacionados no cronograma de médio prazo.

Figura 59 – Falta de relação entre atividade do cronograma e pacotes



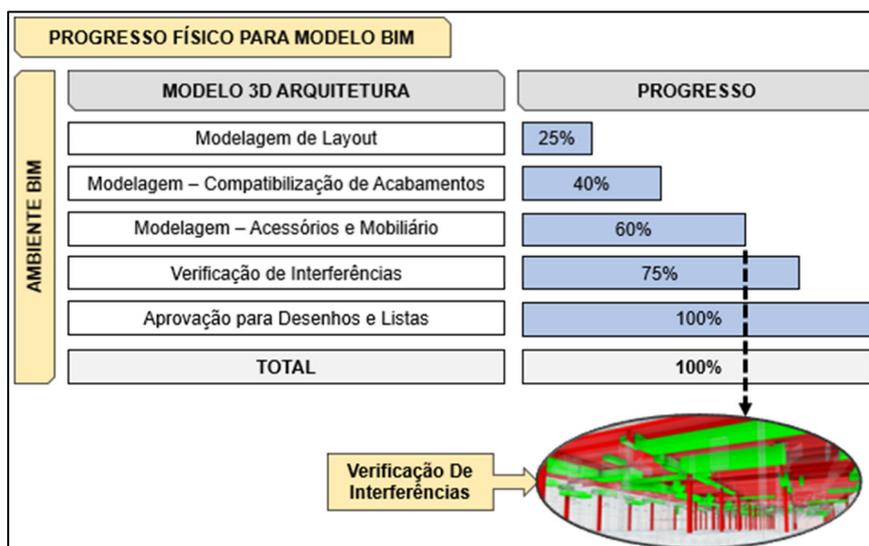
Fonte: elaborado pelo autor.

Os obstáculos criados em função da falta de um maior detalhamento no cronograma de médio prazo podem ser apontados como a falta de equipamentos e materiais, atraso na contratação de mão de obra, falta de documentação ou alterações de projeto. A resolução dessas indefinições foi transferida para a fase de construção quando, geralmente, requerem mais tempo ou então será uma atividade não mapeada pelo planejamento de curto prazo.

Por fim, com o viés do planejamento de médio prazo e o envolvimento da equipe e da gestão, destaca-se o controle estabelecido pela organização dos modelos no CDE. Conforme Figura 60, a verificação de interferências interdisciplinares buscou estabelecer a identificação e remoção sistemática das restrições entre as unidades de produção.

A Figura 60 ilustra o momento em que a análise foi feita no contexto de evolução do modelo 3D de arquitetura. Após a modelagem de layout, compatibilização de acabamentos e de acessórios e mobiliário, a verificação de interferências pode ser processada a fim de eliminar ou reduzir a incidência de restrições físicas antes da emissão de desenhos e listas para a obra.

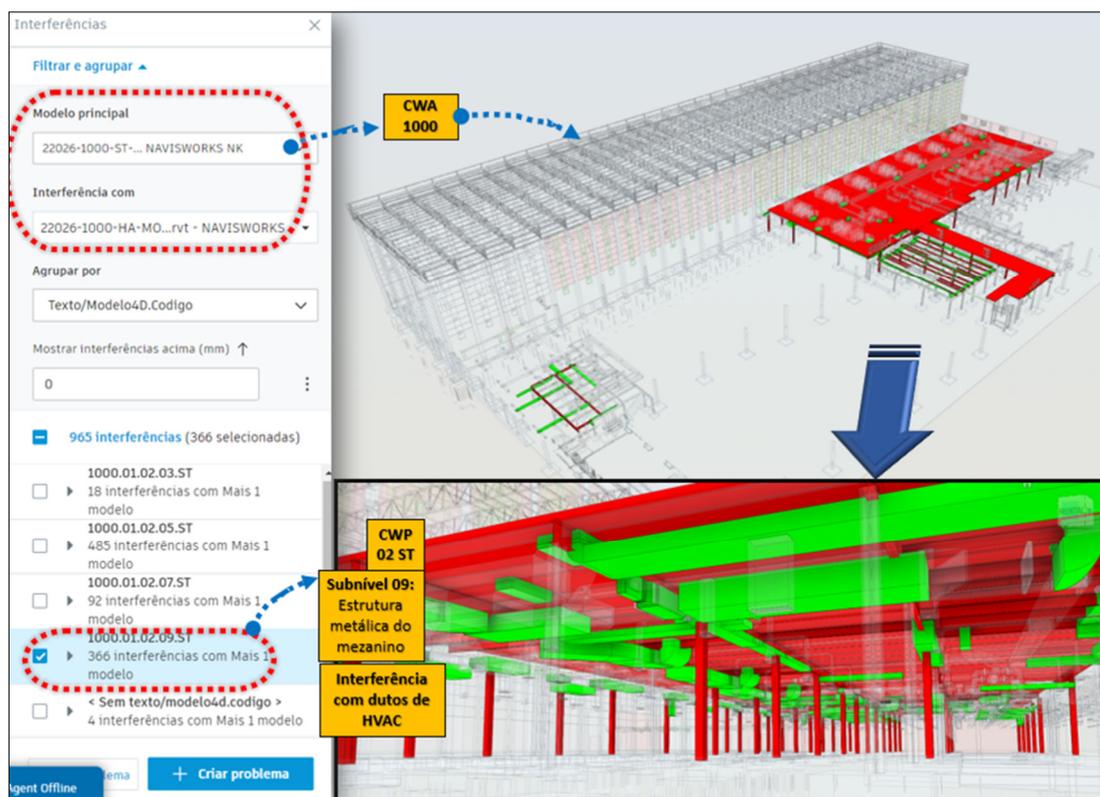
Figura 60 – Verificação de interferências relacionada ao progresso do modelo BIM



Fonte: elaborado pelo autor.

Através do *Navisworks* e do CDE, o padrão de codificação adotado possibilitou gerar o relatório de interferências por locais de trabalho, vinculados aos pacotes de construção do cronograma. Conforme ilustrado na Figura 61, os dutos de HVAC apresentaram inúmeras interferências com a estrutura metálica do mezanino. A possibilidade de visualizar as inconsistências do modelo no mesmo nível de planejamento de médio prazo garante o mapeamento das restrições físicas e tomada de decisão para que, mesmo os problemas mantidos com pendências para serem resolvidos durante a execução, possam ser indicados e reportados às equipes de montagem antes do planejamento semanal.

Figura 61 – Detecção de interferência por Pacote de Construção



Fonte: elaborado pelo autor.

Essa formalização no processo de antecipar para a fase de projeto a proteção da produção exige um curto ciclo de controle dos pacotes de engenharia, resultando em alguns benefícios tais como a identificação rápida de problemas, a diminuição da necessidade de retrabalhos nos pacotes dos sistemas (engenharia e suprimentos) e a introdução de medidas corretivas de forma mais rápida.

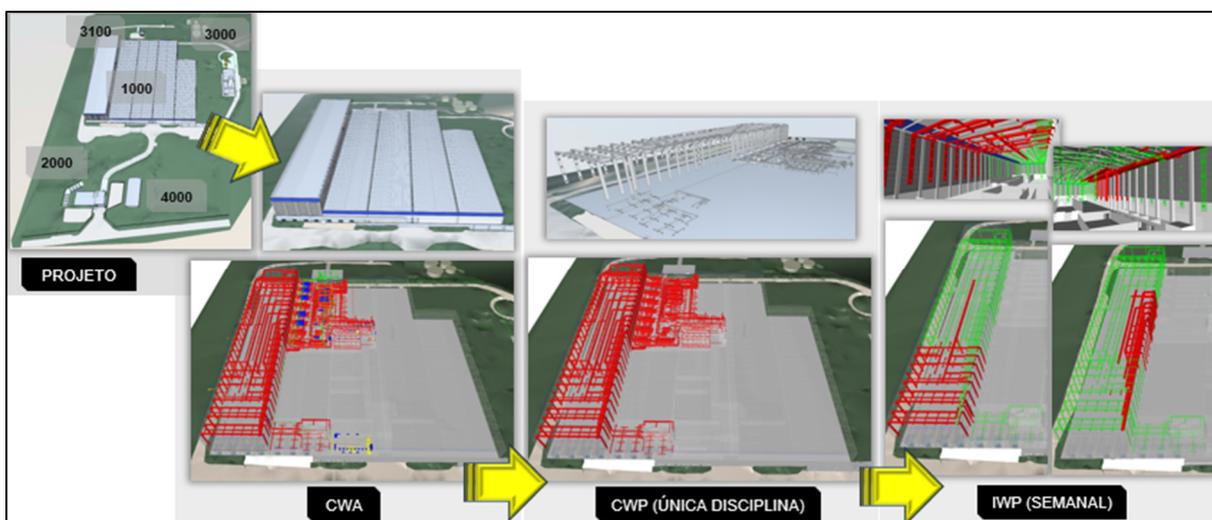
4.3.3 BIM 4D no Processo de Criação dos Pacotes de Trabalho

Logo após o término da organização dos pacotes de trabalho e da modelagem BIM, iniciou-se a análise do empreendimento, compreendendo as atividades de definição da estratégia de execução, estudos dos fluxos de trabalho e dos processos críticos. Estas etapas foram realizadas de forma iterativa, de acordo com a simulação de cada área de construção, visualização dos resultados e tomada de decisão.

Os cenários simulados estão relacionados às discussões internas entre a equipe de gerenciamento e os projetistas. A Figura 62 representa o avanço do pacote de construção de HVAC para a CWA 1000 até a entrega para a programação dos pacotes de instalação. Neste caminho, conforme sequência construtiva anteriormente

comentada, foi feita a quebra das áreas de construção e das disciplinas em cada CWA, avançando ao longo do projeto detalhado com a decomposição dos pacotes no horizonte de médio prazo.

Figura 62 – Fases do processo BIM 4D com o pacote de HVAC no prédio 1000



Fonte: elaborado pelo autor.

Após o apontamento das tarefas na janela de médio prazo e antes do detalhamento dos pacotes de frente de serviço, ainda no estágio de engenharia detalhada, a equipe de gerenciamento estabeleceu os pacotes dos sistemas, ilustrados na Figura 63, necessários para disponibilizar à contratada a fim de executar as atividades livres de restrições.

O pacote de HVAC do prédio 1000 contabilizou 34 documentos identificados na lista de documentos de engenharia e 1 lista de equipamentos, utilizado para o processo de aquisição pelo setor de compras do Cliente. Estes pacotes são controlados externamente ao fluxo BIM, apesar de serem concebidos através dos modelos. Além dos desenhos de construção e listas de equipamentos e materiais, os pacotes de instalação durante a fase de construção incluem instruções de trabalho, descrição detalhada do escopo e necessidades de segurança. O pesquisador não participou da construção das IWPs, que ficou à cargo das Empresas subcontratadas.

Figura 63 – Pacotes dos sistemas de HVAC no prédio 1000



Fonte: elaborado pelo autor.

Dessa forma, os esforços na concepção do modelo 4D foram em representar a simulação da construção até o nível de médio prazo. Conforme Figura 64, o cenário proposto pelo planejamento inicial apresenta a CWP de HVAC de terceiro e quarto nível, sendo este último controlado pela divisão em sistemas de refrigeração.

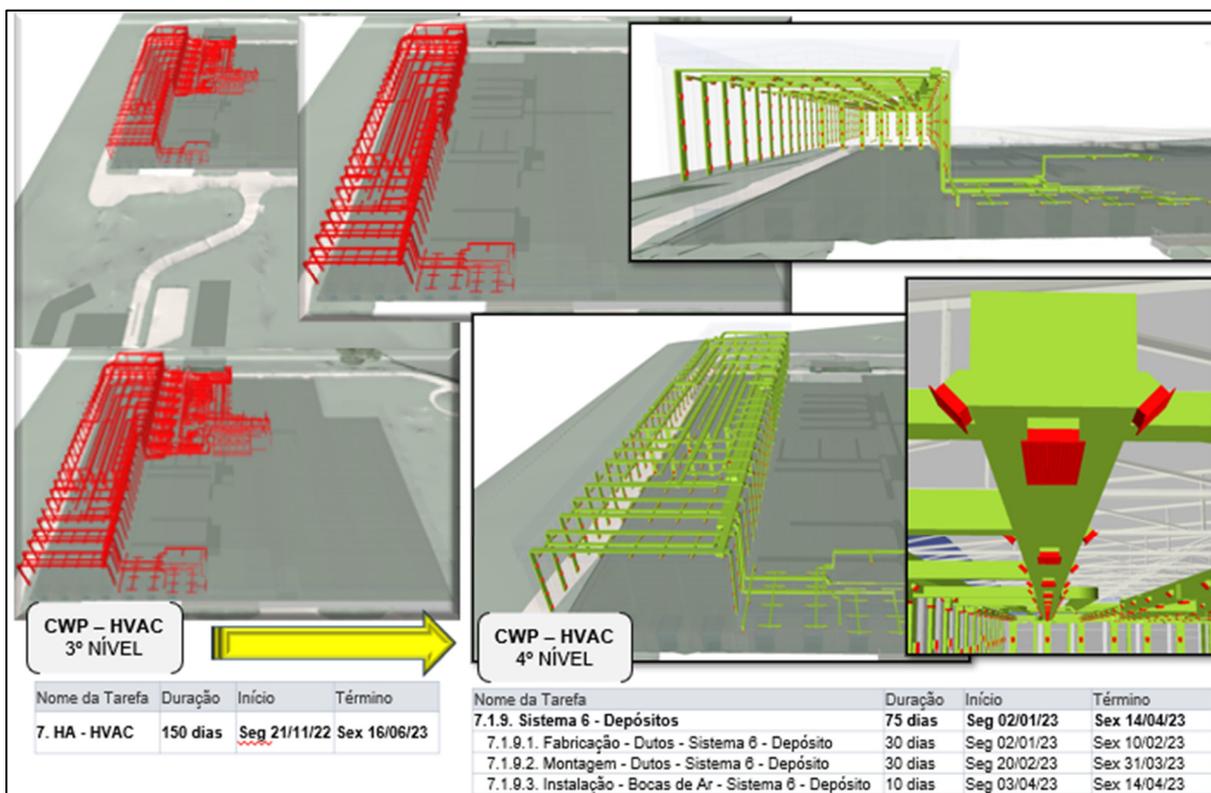
Na etapa de desenvolvimento do BIM 4D foi realizado o vínculo com as atividades de montagem dos dutos e instalação das bocas de ar. Estes eventos de execução de tarefas representados no modelo tem o objetivo de tornar puxada a fabricação e o transporte das peças ao canteiro. A elaboração da simulação teve início dois meses antes do início da construção e durante a fase de contratação das empresas especializadas.

Entretanto, o suporte à fase de fabricação dos dutos é dado pelas listas de materiais e controlado pela subcontratada. A empreiteira responsável pelo fornecimento deve apresentar um cronograma, puxado pelo cronograma de nível B vinculado ao modelo BIM 4D, contemplando todas as seguintes etapas envolvendo a produção e fornecimento dos equipamentos e/ou materiais: planejamento, fabricação, inspeção, expedição, transporte, embarque, entrega, *start up* e comissionamento, quando aplicável.

Para dar suporte aos pacotes de serviço vinculados à disciplina de HVAC, a divisão dos serviços contratados também seguiu a categoria de serviços de montagem dos dutos e instalação das bocas de ar apontados no cronograma. As PWP's destas

duas atividades foram alocadas como “Dutos – Fornecimento e Instalação” e “Componentes – Fornecimento e Instalação”.

Figura 64 – Modelo 4D simulando o Pacote de Construção de HVAC

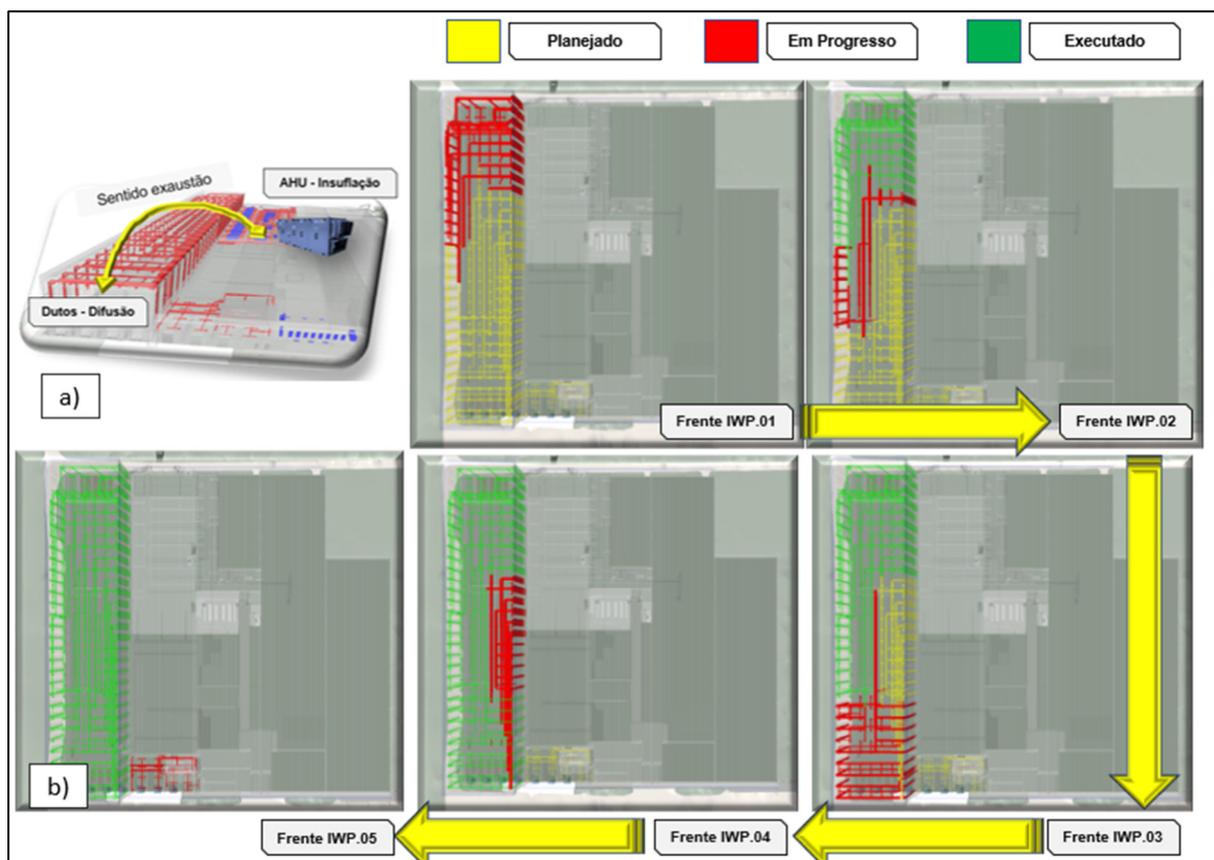


Fonte: elaborado pelo autor.

De posse do plano de médio prazo, elaborado como uma rede CPM, e das simulações no modelo visando analisar interferências entre as atividades, foi possível estabelecer uma primeira proposta de divisão dos lotes de produção, conforme apresentado na Figura 65.

O processo de montagem do pacote de instalação do sistema 6 de HVAC foi subdividido na Figura 65 (a) conforme o sentido de exaustão do ar ventilado. Assim, as frentes de serviço na Figura 65 (b) puderam ser dimensionadas adequando ao planejamento dos fluxos físicos na estação de trabalho, principalmente com relação ao posicionamento das plataformas elevatórias de trabalho e as atividades em alvenarias na cota zero.

Figura 65 – Modelo 4D simulando o Pacote de Instalação de HVAC



Fonte: elaborado pelo autor.

Após a análise da sequência construtiva no ambiente virtual, é importante salientar que, a rigidez e interdependência entre as atividades exigiu o uso da linha de balanço para o estudo dos fluxos de trabalho, para posteriormente realizar a análise detalhada desses lotes de produção.

4.3.4 Fluxos de Trabalho com Linha de Balanço

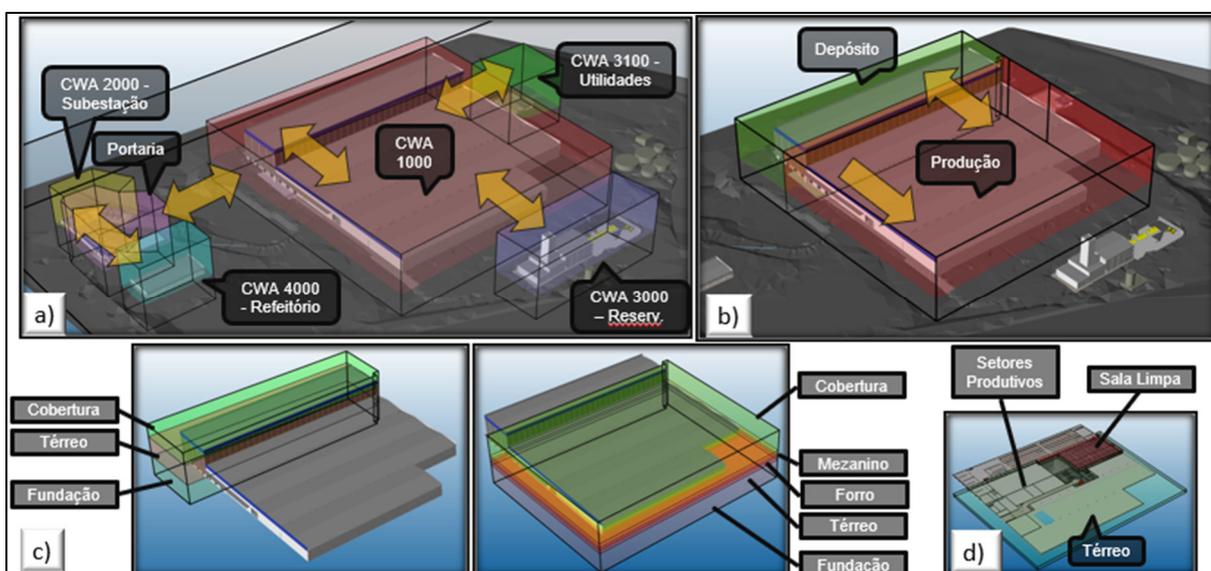
Pelas características complexas do projeto teve-se dificuldade em estabelecer a unidade base, ou seja, atividades repetitivas que configuram o tamanho dos lotes de produção. Para tanto, a sequência de execução entre as estações de trabalho não contava com o efeito aprendizagem das equipes e considerava a variabilidade da demanda que tipicamente existe no canteiro de obras.

O planejamento dos fluxos de trabalho foi realizado na plataforma *Vico Office*, através do módulo *Schedule Planner*. Conforme ilustrado na Figura 66,

estabeleceram-se como lotes de produção a divisão das CWAs e suas respectivas estações de trabalho internas.

Na Figura 66 (a), as CWAs foram alocadas como regiões de escala macro. Esse nível mais alto deve ser locais independentes ou edifícios. Já o nível médio deve exigir fluxo. A área do prédio principal (CWA 1000), devido a necessidade de controlar as atividades em um nível de hierarquia com maior detalhamento, foi subdividida em produção e depósito. Conforme Figura 66 (b) e Figura 66 (c), a estrutura do depósito foi decomposta em três pavimentos (fundação, térreo e cobertura) e da produção em cinco níveis (fundação, térreo, forro, mezanino e cobertura).

Figura 66 – Divisão dos locais de trabalho



Fonte: elaborado pelo autor.

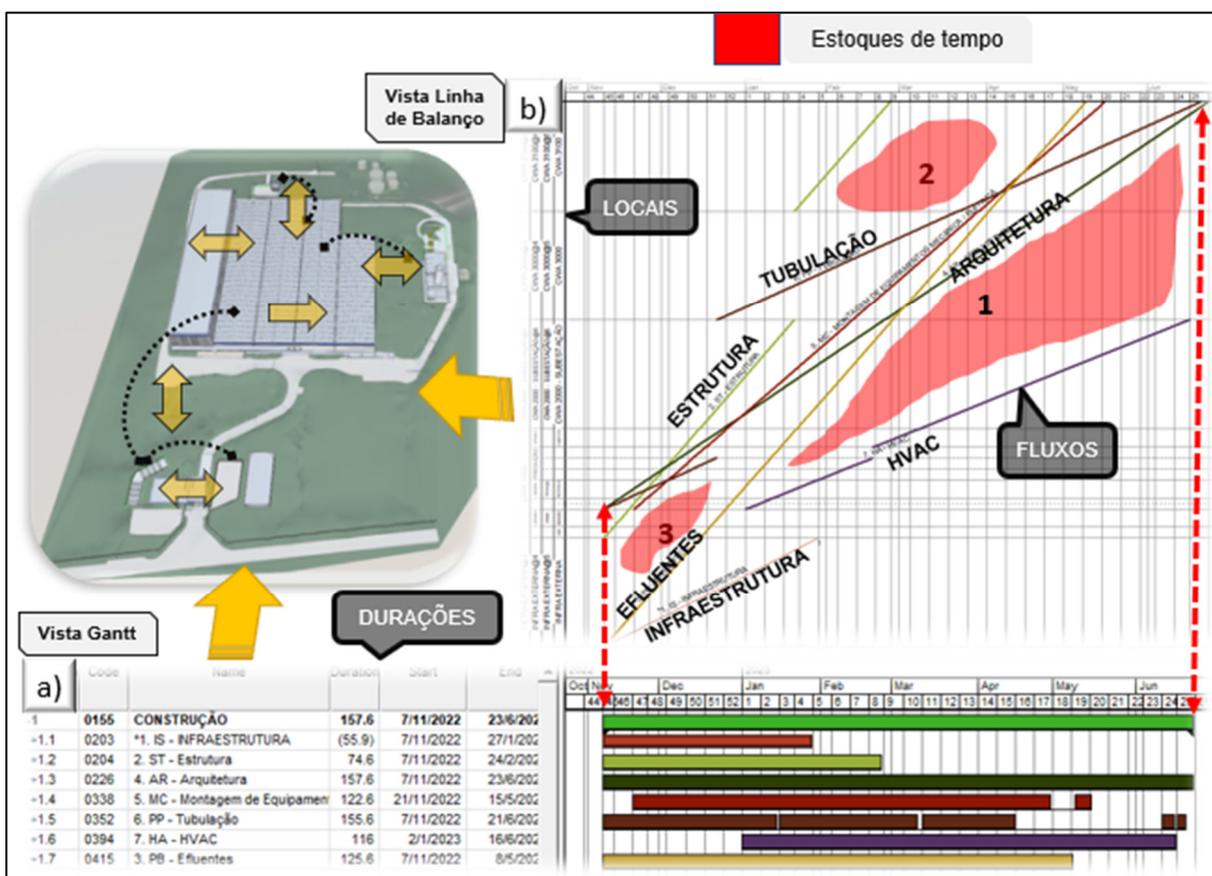
Uma vez criado, identificou-se que no pavimento térreo da produção, ilustrado na Figura 66 (d), a zona de trabalho “sala limpa” era tida no cronograma da obra como uma local independente devido as características intrínsecas ao processo de uso da área, exigindo um controle maior da cadeia de fornecimento de materiais e equipamentos. Salas limpas, em fábricas de medicamentos, são áreas com muitas atividades interdependentes e de alta complexidade, principalmente por apresentarem condições rígidas quanto a esterilidade, assepsia e temperatura.

O *Vico Office* destaca-se como um software alinhado com os princípios do *Lean Construction*. Através do planejamento baseado em localização, criou-se um cronograma mais simplificado e ao mesmo tempo sofisticado, resultante da alocação

de quantidades, recursos e taxas de produção para as tarefas em cada zona de trabalho.

Para o estudo dos fluxos de trabalho, a linha de balanço ilustrada na Figura 67 tornou-se uma ferramenta mais visual, na qual busca-se a sincronização entre processos e o fluxo ininterrupto de diferentes equipes. Como resultado, pôde-se definir os fluxos físicos e por conseguinte, o número de equipes de montagem, sequência de execução dos lotes e sequência das equipes de montagem.

Figura 67 – Relacionamento entre Gantt e Linha de Balanço



Fonte: elaborado pelo autor.

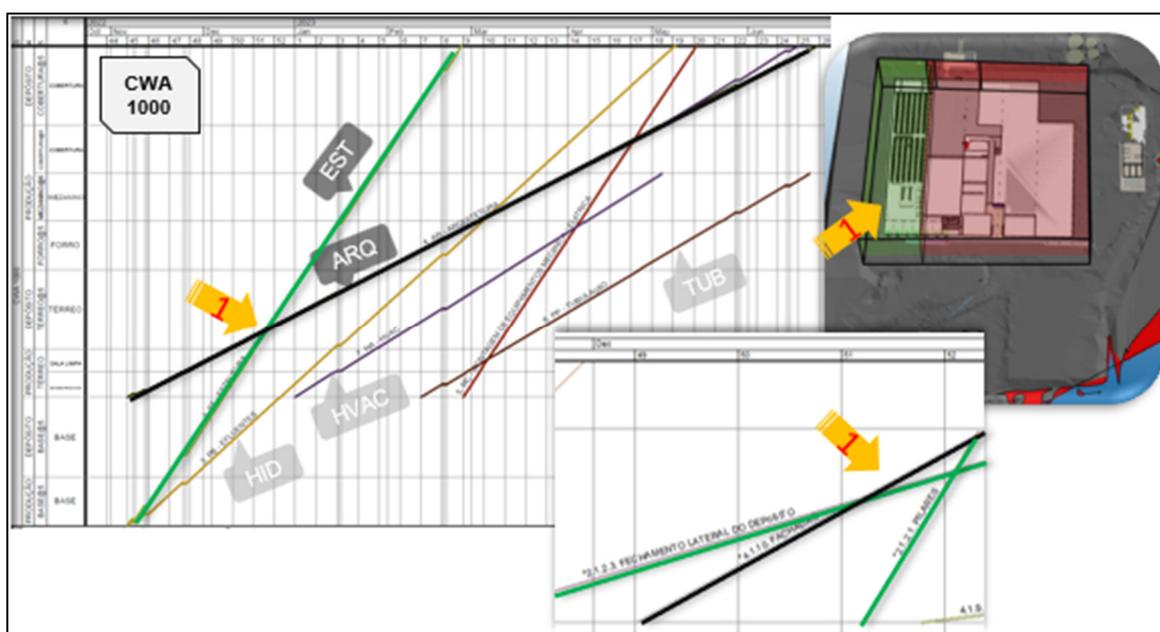
O cronograma de Gantt da Figura 67 (a) demonstra sete pacotes de atividades e os intervalos de tempo entre elas. Além disso, o diagrama de barras mostra a relação de dependências entre as atividades, formando a estrutura analítica do projeto. Nesse caso, cada tarefa é programada para começar assim que seus pré-requisitos forem concluídos. Isso pode distorcer o andamento da obra, tornando-o desbalanceado, adiando tarefas sem necessidade.

Quando aplicado na linha de balanço ilustrada na Figura 67 (b), os relacionamentos entre atividades e locais de produção tornaram-se claros. A inclinação das retas de cada serviço indica o ritmo de produção da obra. Isso auxilia a identificar os choques entre cada etapa e promover o balanceamento e continuidade do fluxo, além de estoques de atividades em processo. Como cronograma da obra fora desenvolvido no *MS Project*, foi facilmente identificado que os lotes de produção não foram sincronizados, como mostra os três estoques de tempo na Figura 67 (b).

De modo contrário, as interrupções nas atividades observadas no cruzamento das retas de serviços, diz respeito a programação ineficiente prevista no diagrama de barras, ocasionando desperdícios com tempos de paradas e necessidade de remanejamento das equipes para outras frentes. A quebra do fluxo das atividades originou-se do emprego de diferentes ritmos de produção gerados por pacotes de construção dimensionados com diferentes composições de serviços.

Conforme Figura 68, os CWP's de estrutura e arquitetura da CWA 1000, apresentaram inicialmente dois conflitos em locais e momentos distintos. Os pacotes de serviço de montagem de fachada (CWP de arquitetura), fechamento lateral e instalação dos pilares pré-moldados (CWP de estrutura) apresentaram um conflito espacial no depósito nas semanas 51 e 52 de 2022, indicados pela seta número 1.

Figura 68 – Interrupções entre Atividades na Linha de balanço CWA 1000

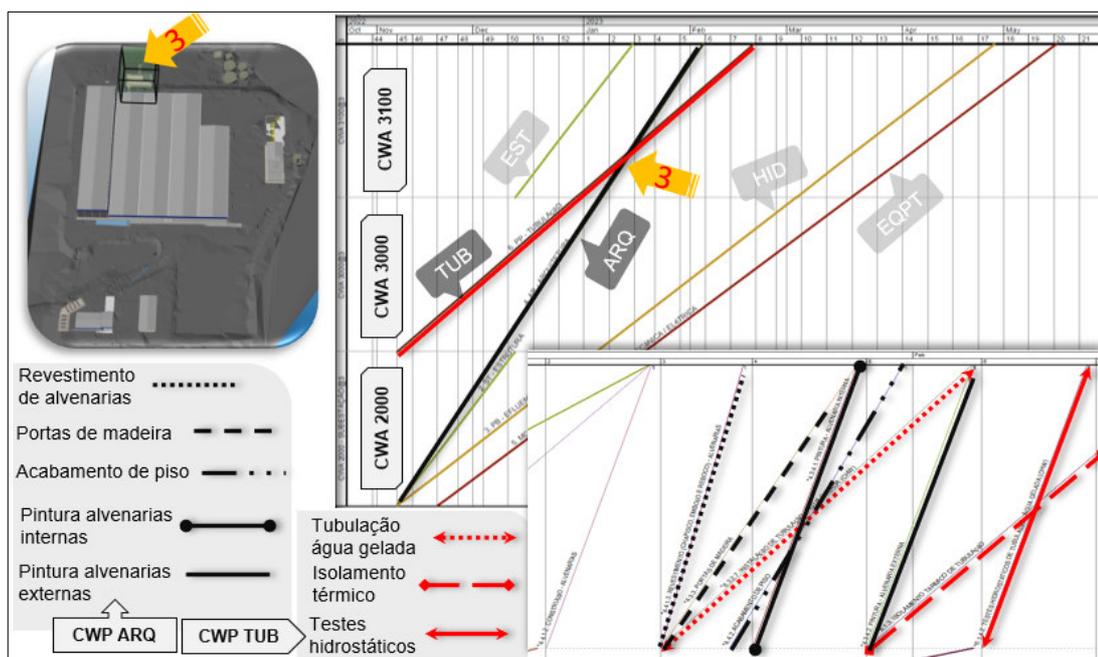


Fonte: elaborado pelo autor.

Esta dificuldade em alocar corretamente os pacotes de trabalho origina-se do fato do cronograma de médio prazo desconsiderar esse nível de estrutura hierárquica de locais. Tal detalhamento é realizado posteriormente à entrega do empreendimento para as Empresas subcontratadas responsáveis pelo planejamento semanal das atividades.

Na visualização dos fluxos de trabalho das outras áreas de construção, pertencentes ao PWP 2 (pacote de contratação de suprimentos), observou-se uma melhor distribuição das atividades entre os locais e no tempo. Porém, dentro da CWA 3100, conforme ilustrado na Figura 69, destacadamente o menor edifício do projeto, várias atividades foram alocadas em um curto espaço de tempo, ocasionando conflitos entre as equipes responsáveis pelos pacotes de tubulação e de arquitetura.

Figura 69 - Interrupções entre Atividades na Linha de balanço CWA 3100



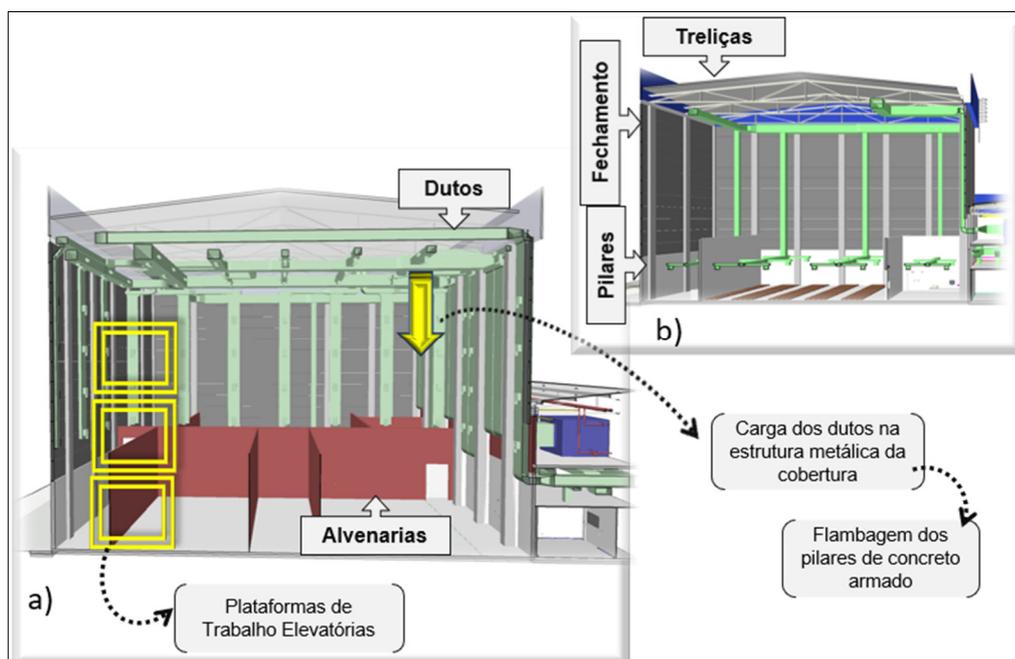
Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se que os serviços do CWP de arquitetura, com 5 atividades, foram distribuídos entre a semana 3 e 6 e as 3 atividades do CWP de tubulação foram programadas para ocorrerem ao longo das semanas 3 e 7. Além das atividades de cada pacote serem executadas por empreiteiras diferentes, o que aumenta o congestionamento entre as equipes no local, os ritmos dos serviços apresentam variabilidade, como é o caso do acabamento de piso que, apesar de iniciar antes da pintura interna, finaliza posteriormente.

À medida que os lotes e sequência das atividades puderam ser estabelecidas, a definição de ritmo complementou a construção da linha de balanço. A definição do ritmo de produção promove o tempo de ciclo e o quantitativo de serviços executados por dia, visando a padronização dos processos, mesmo que a repetição não seja idêntica em termos de variação nos pacotes de instalação. Nesse contexto, a aplicação da definição ampla de produção puxada no planejamento dos fluxos de trabalho também influenciou a análise das operações logísticas dentro do canteiro.

Conforme ilustrado na Figura 70, têm-se um recorte dos meses de janeiro a março de 2023, período de execução dos serviços de elevação e revestimento de alvenarias, bem como a montagem de dutos de HVAC referentes ao sistema 6 (Figura 70.a). Concomitantemente, na mesma localização, têm-se o andamento das atividades de montagem de pilares, fechamentos laterais pré-moldados e estrutura metálica da cobertura do depósito (Figura 70.b).

Figura 70 – Operações logísticas nos pacotes de construção de HVAC



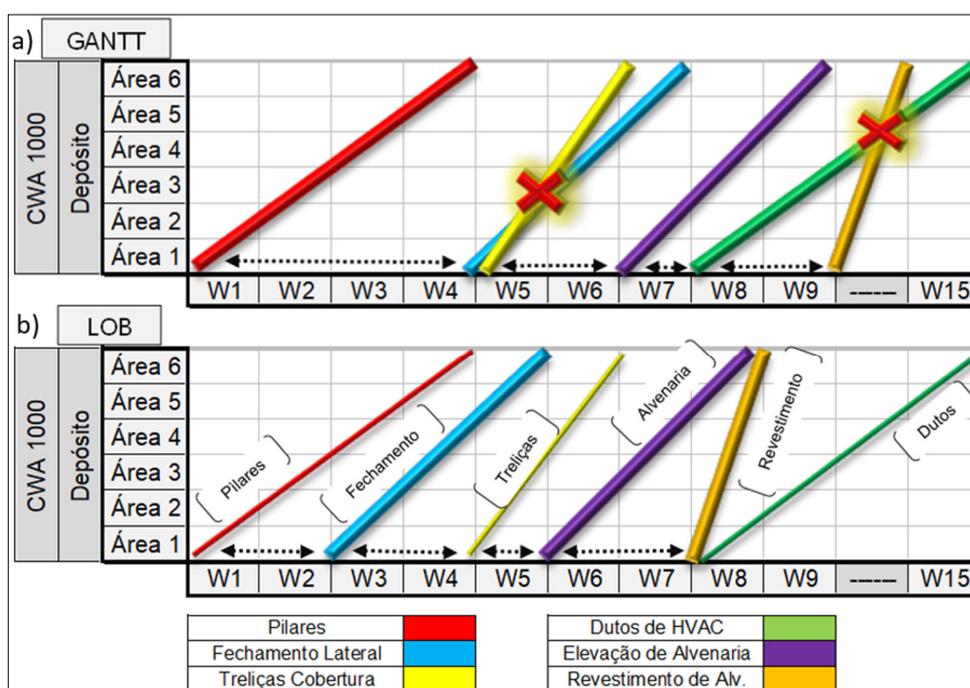
Fonte: elaborado pelo autor.

As restrições visualizadas antecipadamente pelo gerente do projeto eram duas: plataformas de trabalho elevatórias para instalação dos dutos nas treliças da cobertura e de serviços de alvenarias internas no depósito; e o carregamento resultante do peso das instalações de HVAC nas treliças apoiadas em pilares em que o fechamento lateral ainda não estivesse instalado, gerando esforços de flambagem nos pilares.

Tal interferência foi visualizada ao transcrever o cronograma CPM em linhas de balanço ilustradas na Figura 71. As estações de trabalho abertas simultaneamente na região do depósito geraram duas interrupções apresentadas na Figura 71 (a): atividade de instalação das treliças na cobertura com fechamentos laterais; e montagem dos dutos de HVAC com revestimento de alvenarias internas ao depósito.

De modo a estabelecer a sincronia entre estes processos, foi apresentado um novo cenário ilustrado na Figura 71 (b). Preservando o ritmo das atividades iniciais e sincronizando o fluxo ininterrupto das equipes de instalação de fechamentos laterais e dos serviços de alvenaria (elevação e revestimento), foi possível eliminar o conflito espacial observado e diminuir o trabalho em progresso.

Figura 71 – Linha de balanço de pacotes de construção do depósito



Fonte: elaborado pelo autor.

Esta modificação foi facilitada devido a visualização do fluxo do produto e do trabalho. A linha de balanço efetivamente complementou a modelagem BIM 4D. A montagem dos fechamentos pré-moldados foi antecipada em 2 semanas (W5 para W3), a elevação de alvenaria (W7 para W6) e revestimento em 1 semana (W9 para W8).

Para tanto, as decisões quanto ao momento de início destes processos buscaram criar condições para que as equipes envolvidas pudessem manter seu fluxo de trabalho sem interrupções. De maneira oposta, caso fosse oportuno, atrasar o

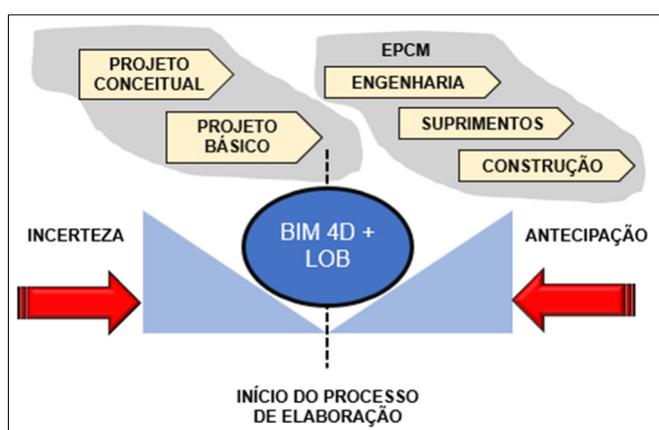
início de uma atividade também poderia favorecer o fluxo contínuo, principalmente pela manutenção dessas equipes mobilizadas na obra, evitando o risco de que elas fossem desmobilizadas e estivessem indisponíveis quando da necessidade de retorno às suas atividades no canteiro.

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS ESTUDOS

Os sistemas de produção foram modelados em um nível de detalhamento prescrito pelo padrão da fase do projeto, ou seja, com informações para consumo durante a etapa de obra. Assim, os resultados das simulações 4D e dos fluxos de trabalho aproximaram-se mais da percepção dos envolvidos acerca desses sistemas de produção, possibilitando a avaliação e comparação dos efeitos de decisões com suas experiências práticas, o que contribuiu com a credibilidade e utilidade do modelo.

Nesse sentido, a simulação precisou lidar com as pressões²³ dos participantes do projeto. Conforme ilustrado na Figura 72, o processo de elaboração da simulação envolvendo o modelo 4D e linha de balanço enfrenta duas pressões contrárias, agindo sobre a definição do momento de início. Enquanto a primeira refere-se à percepção da necessidade de antecipação da simulação a fim de dispor de um período maior para seu desenvolvimento, a segunda impõe no sentido contrário a intenção de protelar o início do processo de modo a reduzir o nível de incerteza com relação aos processos produtivos.

Figura 72 – Pressões sobre o início das simulações

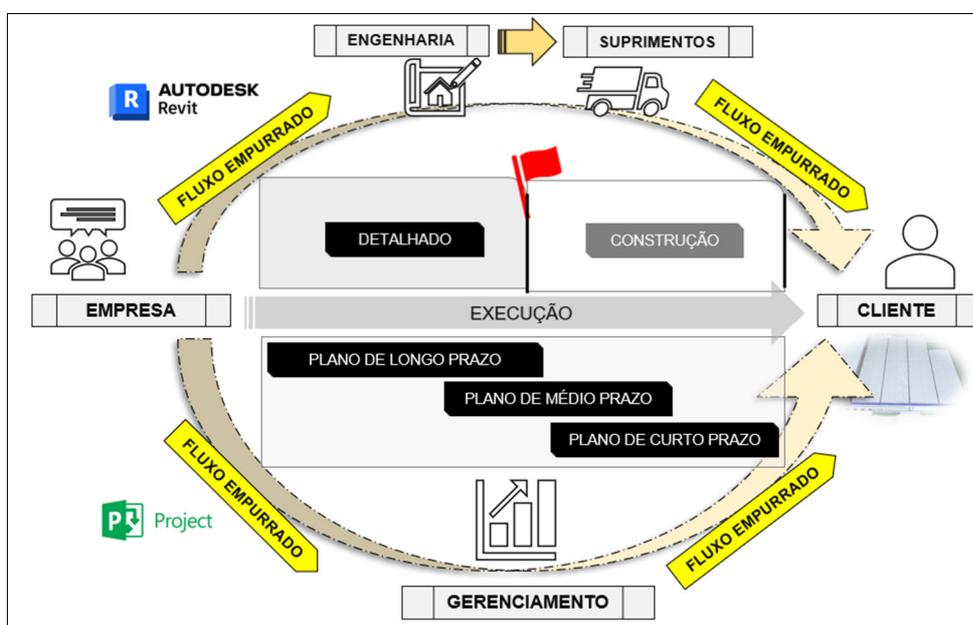


Fonte: elaborado pelo autor.

²³ Scramm (2009) já relatava em seus resultados a dificuldade em lidar com as pressões das equipes quanto ao início do processo de simulação.

A dinâmica apresentada pode ser caracterizada como um fluxo empurrado, em que as ocorrências de solicitações de alterações nos modelos e, por sua vez, nos pacotes de engenharia, suprimentos e instalação, são demandadas por fragilidades no atendimento às expectativas do Cliente nos portões de aprovação de projeto anteriores. Conforme ilustrada na Figura 73, cria-se um cenário de planejamento retrospectivo, direcionado para a remoção de deficiências produzidas por decisões anteriores.

Figura 73 – Modelo de projetos EPCM da Empresa



Fonte: elaborado pelo autor.

No âmbito da organização das equipes por competências, verificou-se oportunidades de melhoria entre os setores. Por se tratar de um projeto EPCM, a configuração de transformação adotada no empreendimento prejudica a percepção de valor pelo Cliente. Os fluxos sequenciados e estruturados somente pela modelagem do produto, sendo este os entregáveis de engenharia ou suprimentos, isolam as equipes. De modo contrário, a aproximação das equipes de instalação visa maximizar o desempenho para o Cliente já no nível de projeto e implica em projetar o produto e processo simultaneamente.

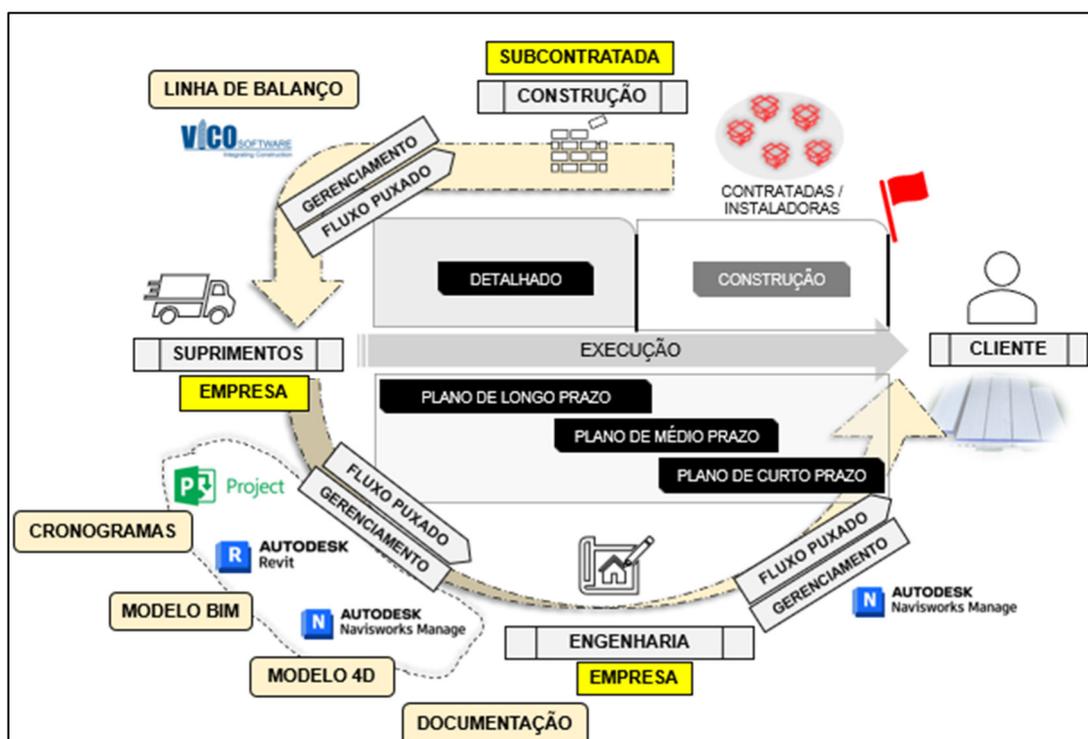
Conforme Fillion, Valdivieso, Iordanova (2020), uma vez iniciada a fase de construção e os colaboradores do projeto (subempreiteiros e projetistas) se juntarem à equipe, os detalhes fornecidos pelos especialistas de cada disciplina são

adicionados ao cronograma progressivamente e devem ilustrar a estratégia detalhada da sequência de construção.

Na modelagem 4D, por sua vez, o pesquisador utilizou a participação nas reuniões técnicas para propor opções de estratégias de ataque e fluxos de trabalho à equipe de coordenação do projeto, compreendendo a inter-relação das decisões que afetam a produção, conforme Figura 74.

O uso do modelo 4D e da linha de balanço objetivando sincronizar os fluxos de trabalho busca promover a geração de fluxo e valor ao lado da transformação. E o mais importante, essa estratégia considerou as dimensões de integração de informações, sincronização e visualização simultaneamente, através das ferramentas computacionais utilizadas.

Figura 74 – Modelo final para projetos EPCM



Fonte: elaborado pelo autor.

Sob esta ótica, a participação de uma equipe dedicada à coordenação dos processos na entrega do produto, deveria ocupar-se na interface entre engenharia, suprimentos e construção, visto que as empresas executoras não foram envolvidas neste cenário.

5 DISCUSSÃO

A seguir é realizada uma análise do modelo desenvolvido com base em sua utilidade e aplicabilidade (ver seção 3.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO D).

5.1 UTILIDADE DO MODELO

Com relação à **contribuição ao processo colaborativo de planejamento de projetos EPCM**, o modelo propôs uma oportunidade para o envolvimento entre projetistas (internos e subcontratados), equipe de planejamento e Cliente. Esse estímulo foi percebido pelo aumento da utilização das ferramentas de visualização (modelo 4D, dashboards, linha de balanço) ao longo do ciclo do projeto.

Dessa forma, o modelo proposto serviu como instrumento de apoio à tomada de decisão, especialmente durante a fase de engenharia e suprimentos. Esse estímulo foi percebido a partir das reuniões técnicas de projeto, sendo o pesquisador responsável pela manipulação do modelo 4D. Os modelos 4D auxiliaram no entendimento das decisões tomadas pelos projetistas, apontou conflitos interdisciplinares e possíveis interferências entre os fluxos de trabalho no canteiro de obras. Além disso, houve uma considerável contribuição dos coordenadores do projeto, planejadores e engenheiros, o que agregou para o processo colaborativo do planejamento de engenharia e suprimentos visando a construção.

O **uso das ferramentas visuais promoveu a transparência e disponibilidade de informações**. Através do modelo BIM foi possível integrar todas as disciplinas do projeto, estabelecendo um ambiente de transparência no qual os participantes conseguiram visualizar de forma concreta o impacto das decisões tomadas ainda na fase de detalhamento para construção.

Além disso, o modelo 4D serviu para subsidiar as condições de contratação das Empresas executoras, uma vez que naquele momento não havia contratos de serviços firmados. É de responsabilidade da empreiteira estabelecer uma sequência lógica de execução das atividades, definindo a época da mobilização e desmobilização dos recursos (materiais, equipamentos e mão-de-obra). Desta forma, estes fornecedores puderam avaliar as restrições físicas do empreendimento frente a seu planejamento de frentes de serviço.

Durante a construção, o modelo 4D seria utilizado na elaboração dos indicadores de construção. Na percepção do gerente de projeto e do engenheiro de planejamento, a simulação realizada seria agregada ao relatório de status de obra, sendo utilizada em indicadores de performance física do projeto e gestão à vista de cada item da EAP, com imagens e progressos. Este documento, além do propósito de referência durante a fase de execução do empreendimento, serviria de base para futuros projetos. O gerente de projeto identificou a sinergia entre o modelo proposto e os princípios do *Last Planner System*, aplicados anteriormente em projetos similares, para a remoção sistemática de restrições de atividades antes de entrarem no planejamento semanal.

No que diz respeito à qualidade dos planos de médio prazo, o modelo proposto contribuiu para a **redução da necessidade do planejamento de curto prazo**. A estruturação das áreas de construção (CWA) e pacotes de construção (CWP) utilizaram o plano de longo prazo. Já o plano de médio prazo serviu para elaboração dos pacotes de engenharia (EWP) e suprimentos (PWP), além de promover um maior detalhamento nos pacotes de construção.

A utilização dos modelos 4D mostrou à equipe de gerenciamento do projeto, através do vínculo entre as tarefas e os elementos, quais as características necessárias para a construção dos pacotes de trabalho no nível de médio prazo. Apesar da observação de baixa interação entre a equipe de planejamento, responsável pela elaboração do cronograma, e as equipes das disciplinas técnicas, o pesquisador pode reportar aos responsáveis pelo cronograma e pelos modelos BIM contribuições no detalhamento das atividades ou da modelagem, respectivamente.

Com relação ao cronograma, notou-se variabilidade no grau de composição dos pacotes de construção. Nesse estudo, as escadas pré-moldadas, instalação de guarda corpos em parapeitos e escadas e montagem dos racks do depósito não foram relacionadas. A existência de elementos no modelo pertencentes a estas tarefas sinalizou a falta do pacote, possibilitando a correção do cronograma de médio prazo, evitando com que os serviços somente fossem visualizados e planejados no plano de curto prazo.

Tais práticas de análise de requisitos rigorosa e iterações rápidas para melhoria também puderam ser obtidas através das reuniões técnicas com o Cliente, principalmente na fase final da fase de engenharia, podendo ser exemplificada através dos pacotes de instalação dos racks porta cargas do depósito. A estratégia de

industrializar a fixação dos sprinklers internos aos racks necessitou elevar o nível de desenvolvimento da família de racks a fim de indicar ao fabricante os locais corretos em que os chuveiros automáticos seriam fixados. Além disso, o pacote de instalação dos racks foi programado como restrição à montagem da tubulação de incêndio, em dois momentos, com as informações necessárias para fabricação e pela sequência executiva das duas atividades.

Por outro lado, devido à concepção de um modelo BIM parcialmente orientado ao planejamento de construção, por ter sido herdado do modelo conceitual, alguns elementos não foram detalhados suficientemente. As atividades de revestimento de alvenarias e pintura não puderam ser vinculadas diretamente a elementos do modelo, bem como instalação e ligação de cabos relacionados aos pacotes de elétrica, telecomunicações e instrumentação, que não foram modelados. Tais serviços não foram simulados no modelo 4D.

Com relação a **confiabilidade no fluxo de informações dentro do modelo proposto**, por se tratar de um empreendimento complexo, observou-se dificuldade em promover o fluxo contínuo das atividades, devido ao baixo grau de repetição e da concepção da unidade base. Dessa forma, a estratégia de execução considerou a abrangência dos serviços dos pacotes de construção relacionados à cada localização. A construção do cronograma de médio prazo se propôs a modelar a curva de execução física, no nível de detalhamento acordado com o Cliente.

Com base nesta constatação de baixo padrão de repetição e complexidade nas relações entre as frentes de serviço, o modelo BIM deve representar as atividades da produção através da modelagem do produto do empreendimento e dos processos envolvidos para realização destas atividades.

O modelo do produto consiste em todos os objetos que compõe a edificação, representando os componentes com quantidades exatas, tamanho, forma, localização e orientação. Este, pela formação de experiência dos projetistas em empreendimentos anteriores da Empresa, foi validado externamente com o Cliente, equipe de produção e planejamento através dos entregáveis de engenharia e suprimentos, sendo este o escopo para atendimento pela empreiteira durante a fase de construção.

Porém, observou-se falhas na concepção de um modelo de processo. O modelo do processo, que consiste em modelar os estoques, as vias de circulação de equipamentos e pedestres, e o acesso ao canteiro, pode ser entendido como os elementos BIM temporários lançados no modelo 4D. Somente foi verificada a

validação interna, com a participação apenas do pesquisador, com a visualização final do 4D e da linha de balanço, observando inconsistências na sequência de execução. Entende-se que o modelo de processo poderia ser mais bem explorado pela Empresa através do planejamento da construção em conjunto com as contratadas, especialmente pela elevada quantidade de serviços de montagem e instalação²⁴.

Quanto à **contribuição para a sistematização do processo de tomada de decisão**, a sequência de decisões prevista no modelo mostrou-se adequada ao desenvolvimento do planejamento de engenharia, suprimentos e construção. Com o uso intenso do BIM pelos projetistas e dos modelos 4D pela equipe de planejamento, foram identificados padrões no fluxo de informações, demandados principalmente pela lista de documentos de engenharia concebida no início do projeto.

De fato, a característica complexa do empreendimento requer ciclos curtos de aprendizagem de modo a tornar os projetos mais adaptáveis às mudanças. Neste sentido, a criação de mecanismos para a produção puxada, como os quadros visuais de engenharia, buscou estabelecer informações agrupadas por localizações e pacotes de construção, sendo utilizados para acompanhamento do progresso do projeto.

Tal característica, além de estruturar os pacotes de engenharia, foi utilizada na contratação de pacotes de serviço e aquisição de equipamentos e materiais. A partir dos planos bem definidos em longo e médio prazo, buscou-se reduzir o tamanho do lote, contribuindo para a redução do tempo de ciclo das atividades de construção.

Verificou-se a potencialidade de uso do modelo 4D no planejamento logístico do canteiro, especialmente nos estoques dos pilares e fechamentos laterais pré-moldados, além das estruturas metálicas do mezanino e treliças espaciais da cobertura, objetivando reduzir a movimentação dos equipamentos de montagem no canteiro, eliminando atividades que não agregam valor. Ademais, a estratégia de produção das peças no próprio canteiro fora proposta pela equipe de coordenação do projeto sem considerar o layout e logística das áreas de estocagem.

Pode-se concluir que o modelo proposto **considera a análise de planos alternativos de execução em processos críticos**. A visualização de planos alternativos de execução da obra estudada foi possibilitada através da geração de cenários utilizando a ferramenta de simulação 4D. Com base nesses cenários, um

²⁴ A contratada é responsável por apresentar antes do início dos serviços o plano de *Rigging* (estudo de içamento) para a montagem das estruturas metálicas e equipamentos, de modo a garantir condições mínimas de segurança e otimizar recursos.

maior número informações esteve disponível para tomada de decisão, possibilitando à equipe de coordenação do projeto testar e avaliar o plano de médio prazo para se chegar à melhor definição de solução.

A utilização da linha de balanço foi essencial para sumarizar as informações dos processos críticos e contribuiu na tomada de decisão da equipe de coordenação para a necessidade de balanceamento entre os processos dos pacotes de estrutura, arquitetura e HVAC no depósito da CWA 1000.

Ainda assim, o detalhamento excessivo de atividades na linha de balanço refletiu em sua subutilização nas avaliações de nível macro, uma vez que dificultava a avaliação por parte da equipe de coordenação dado o número de atividades representadas. Assim, percebe-se que o uso da linha de balanço agregou maior valor ao processo de análise dos processos críticos e restringiu-se a avaliar os impactos da variabilidade de ritmos e estratégias de redução do tempo de ciclo destes serviços.

5.2 APLICABILIDADE DO MODELO

Em relação a aplicabilidade do modelo, que envolve a facilidade de uso, foi avaliada a **contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os participantes**. Quanto a utilização dos modelos BIM, além de serem utilizados nas discussões técnicas entre projetistas, serviram de base para propor e avaliar os impactos das decisões com o Cliente nas reuniões semanais.

O Cliente tinha extenso conhecimento técnico acerca do nicho de mercado no qual o empreendimento se inseria, exigindo da equipe interna clareza nas informações. Porém, alguns elementos, como tubulação, sprinklers, dutos e elétrica geravam dúvidas para o Cliente durante o fluxo de aprovação da documentação devido à complexidade das rotas e relações interdisciplinares. Nas reuniões, que foram realizadas desde o início do projeto, passou-se a utilizar o modelo BIM unificando todas as disciplinas como plano de fundo para as discussões de engenharia. O potencial de comunicação e entendimento das decisões foi avaliado externamente com o Cliente, que demonstrou apoio ao uso recorrente dos modelos 3D nas reuniões em complementaridade à emissão da documentação em 2D.

Com relação ao **esforço envolvido na modelagem 3D**, por ter sido compartilhado com as equipes de projeto, o modelo proposto tornou-se adaptável ao fluxo regular do projeto. A utilização de biblioteca BIM e *templates* personalizados por

disciplina proporcionou a padronização nas entregas dos pacotes de engenharia e de suprimentos. Cabe ressaltar que a Empresa possuía um programa de qualidade interno para capacitação contínua em termos de emissão de documentação bem como para a utilização dos programas computacionais.

Porém, considerando que a análise de qualidade dos modelos BIM, como identificação de elementos não modelados, foi realizada exclusivamente pelo pesquisador, torna necessário um esforço maior dos projetistas no sentido de produzir informações de projeto em lotes vinculados aos pacotes de construção. Assim, o modelo BIM fornece auxílio às empreiteiras para a identificação de restrições de médio prazo necessárias para dar suporte a realização da construção.

Dessa forma, quanto à **participação das pessoas no processo de modelagem**, pode-se avaliar que os fluxos de modelagem durante a etapa de engenharia, por exigirem intensa colaboração entre os projetistas e com o Cliente, promoveram a colaboração crítica. Tal fato foi intensificado devido à eliminação do projeto básico, que trouxe discussões já consolidadas à etapa de detalhamento para obra, estimulando o uso dos modelos para demonstração de impactos das mudanças.

A simulação pode ser utilizada para provocar as decisões relacionadas ao empreendimento desde o projeto conceitual, acompanhando o avanço dos portões de atendimento às expectativas do Cliente. A medida em que se diminui o nível de incerteza há a necessidade de definir premissas sob pena de paralisar o processo ou de ser forçado a revisar posteriormente.

Entretanto, algumas decisões podem não estar ao alcance dos participantes do processo, como no caso de decisões estratégicas da Empresa, podendo ser a contratação de um determinado fornecedor ou os prazos de entregas das fases do empreendimento. Por exemplo, a falta de definição quanto à contratação das Empresas instaladoras até o último mês da entrega do projeto detalhado impossibilitou que elas tivessem maior participação no processo.

Por fim, a aplicabilidade do modelo foi evidenciada pelo interesse da coordenação do projeto em dar **continuidade no uso das ferramentas propostas**. Foi solicitado pelo gerente do projeto que o modelo proposto apoiasse a segunda fase da engenharia do empreendimento em estudo, com a expectativa de início simultâneo à etapa de construção da primeira fase. No estudo, os quadros visuais de engenharia foram parametrizados diretamente na lista de documentos original do projeto,

podendo evoluir e serem gerenciados para outros projetos diretamente pelo planejador.

A partir das considerações feitas com relação à aplicação do modelo proposto, as contribuições mais assertivas ao contexto organizacional da Empresa foram relativas ao aumento da comunicação e entendimentos das decisões entre os participantes e a sistematização da criação de pacotes de trabalhos de engenharia e suprimentos vinculados a estrutura hierárquica de localizações. O maior controle dos pacotes de entregas foi beneficiado pela criação de quadros visuais para monitoramento do progresso dos documentos de engenharia. O uso do modelo 4D suportou as decisões de projeto e dos planos de atividades e explorou as interrelações entre projetistas, planejadores e expectativas do Cliente.

O modelo foi aplicado durante a etapa de projeto detalhado, o que limitou seu uso à uma ótica de cima para baixo centralizada pela equipe de planejamento e apoiado pelas decisões das fases anteriores. Dessa forma, o grau de acerto foi condicionado à qualidade das informações de entrada. Houve um maior detalhamento dos modelos 4D pela quantidade de informações geradas pelas equipes, por isso, decidiu-se por aplicar as simulações com maior foco na avaliação da integração das disciplinas e de restrições físicas no canteiro.

É oportuno ressaltar que, por se tratar de uma Empresa fortemente inserida nas fases de pré-construção, a falta de uma interface robusta com a produção no canteiro, fez com que a Empresa negligenciasse a discussão do sistema de produção. A consideração exclusiva do projeto do produto definidos pelos pacotes de engenharia e suprimentos descartou os potenciais benefícios da consideração simultânea com os processos de produção individuais. Propõe-se, assim, que o modelo proposto acompanhe as etapas anteriores ao planejamento de médio prazo, gerando informações de entrada para este e criando padrões para facilitar e simplificar o processo de controle.

6 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, bem como sugestões para futuros estudos com base nos resultados deste.

6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A pesquisa teve como motivação a oportunidade de resolver um problema prático relacionado ao planejamento e controle de projetos a nível de médio prazo com o apoio de BIM em uma Empresa especializada em engenharia avançada de projetos industriais, caracterizada por projetos de alta complexidade.

O pesquisador teve participação ativa no contexto organizacional com o **principal objetivo de propor uma estrutura de modelagem de informações para permitir um planejamento e controle mais sistemático a nível de médio prazo através do uso de BIM**. A abordagem da pesquisa adotada foi a pesquisa construtiva, já que, entre outros motivos, a utilização do BIM nesse processo tem como objetivo contribuir para a gestão da informação ao longo do ciclo do projeto, ou seja, seu foco incide sobre um problema real e de relevância prática para a Empresa.

Com base em uma revisão de literatura nas áreas de gestão dos sistemas de produção, métodos e mecanismos para o planejamento e controle orientados com a visão de fluxo e baseados em localizações, além do uso da modelagem BIM 4D, as atividades realizadas foram divididas em dois estágios desenvolvidos na mesma Empresa. As principais conclusões destes estudos estão sintetizadas a seguir.

O estágio A, de caráter exploratório, evidenciou a necessidade de organização do processo de projeto orientado à fase de construção desde a fase conceitual, visto que postergar tais decisões potencializam as incertezas e os riscos do projeto. A supressão da etapa de projeto básico e a complexidade da obra estudada comprometeram o atendimento aos prazos estabelecidos e implicaram no atraso do processo de aquisição. Em função da falta de aproximação com as subcontratadas, houve dificuldade no estabelecimento de um fluxo de valor orientado à construção.

Após as visitas técnicas à obra e análise de documentação do projeto foi proposto agrupamento dos serviços por locais de trabalho com seus respectivos pacotes de construção. O fluxo proposto buscou reduzir o tamanho dos lotes de

produção de engenharia e de suprimentos, aumentando a flexibilidade de produção frente às incertezas do projeto.

O estágio B evidenciou a necessidade de simular o canteiro durante a fase de pré-construção, não só de atividades de transformação, estas representadas pelos elementos do modelo BIM, mas também de fluxo, que não agregam valor ao projeto, como serviços de montagem e instalação e movimentação de equipes.

Através da utilização do modelo 4D foi possível identificar restrições no plano de médio prazo, simular cenários alternativos e reduzir a necessidade do planejamento de curto prazo, evidenciado pela estruturação dos pacotes de construção. A simulação dos fluxos de trabalho com linhas de balanço deu suporte ao cronograma de barras, detectando desvios de ritmos e interrupções nas frentes de serviço e promovendo a produtividade através do fluxo contínuo das atividades.

A partir da visualização 4D, pôde-se avaliar a necessidade de ajustes no modelo, no cronograma de barras, ou a elaboração de novos cenários do sistema de produção. Com base nas decisões tomadas com o auxílio dos modelos 4D, aspectos previamente definidos poderão ser revistos. Alterações no plano de longo prazo, sequenciamento de atividades ou nos modelos 3D podem se fazer necessários para refletir as mudanças.

O modelo proposto integra a gestão de projeto ao longo do ciclo das etapas de pré-construção, desde as decisões iniciais do projeto do sistema de produção e ao longo do detalhamento de engenharia e dos pacotes de suprimentos, adicionando mais controle às complexas redes de componentes e recursos que compartilham as várias interfaces das disciplinas. O planejamento é desenvolvido a partir da estrutura hierárquica de localizações, uma das bases do sistema LBMS. O cronograma CPM é utilizado como base para o cronograma LBSM (linha de balanço), de forma que as informações constantes nos cronogramas possuam as mesmas bases e datas, atendendo à premissa de que os marcos gerenciais estabeleçam os objetivos das metas de produção.

A principal contribuição do modelo é que o mesmo atua na interface entre as equipes de projeto, aquisição e de execução, mais precisamente no gerenciamento das informações dos entregáveis de cada parte. O fluxo de trabalho da produção é representado por meio da linha de balanço e as informações relacionadas aos pacotes de construção são detalhadas e integradas através da estrutura hierárquica de localizações. O uso do BIM, nesse contexto, proporciona a visualização espacial dos

planos e gerenciamento de restrições no nível de médio prazo a fim de eliminar ou diminuir as incertezas para a execução das tarefas, definindo de forma precisa o escopo do trabalho envolvido e garantindo que todos os recursos necessários para a execução estejam disponíveis.

Por fim, o modelo propôs uma nova configuração à lista de documentos, que não previa a divisão por pacotes, conferindo um caráter de visão operacional à gestão do fluxo de desenhos e listas de materiais. Já em relação aos cronogramas, existiu uma alteração da elaboração dos planos de longo e médio prazo, que não consideravam a estrutura hierárquica de locais, possibilitando com que as atividades fornecessem um pacote de dados do projeto em uma escala possível de ser monitorada e analisada. Estas ações promovem a criação do processo de contratação das Empresas executoras em lotes menores vinculados ao progresso da engenharia.

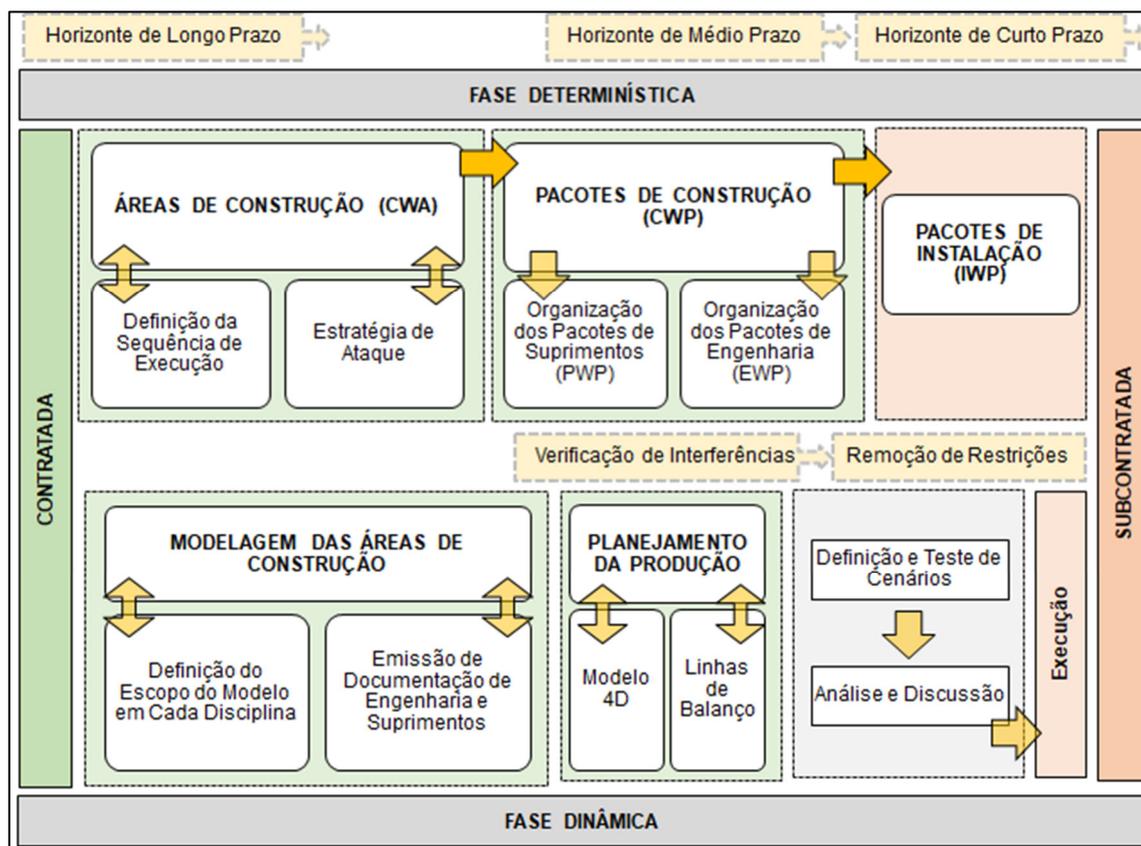
Pelo envolvimento do pesquisador no processo de coordenação dos modelos BIM foi possível ressaltar requisitos e padrões de informação para serem considerados durante o processo de modelagem pelos projetistas. A codificação adotada permitiu o vínculo automatizado entre os elementos de um modelo BIM e as tarefas do cronograma, de maneira que o modelo 4D pudesse ser utilizado para a gestão dos processos produtivos, promovendo o envolvimento entre projetistas, equipe de planejamento e o Cliente. Entretanto, foi evidenciado ao longo do estudo empírico que apenas a modelagem 4D não atendia completamente a simulação da construção e, conseqüentemente, a linha de balanço foi elaborada para suprir esta necessidade.

O primeiro objetivo específico consistiu em **adaptar características do Planejamento e Controle Baseado na Localização e Pacotes de Trabalho Avançados no desenvolvimento dos modelos 4D**. O estudo exploratório evidenciou que as incertezas geradas nas fases iniciais do projeto potencializadas em empreendimentos de características complexas requerem um esforço maior na colaboração entre os estágios do projeto bem como entre os níveis hierárquicos de gestão. Diferente de outros estudos, o modelo proposto considerou a natureza não repetitiva dos projetos e avançou no uso integrado das abordagens de LBMS e AWP.

A estrutura proposta na Figura 75, diferentemente dos trabalhos de Schramm (2009), Reck (2013) e Barth *et al.* (2020), orientou o planejamento da produção através de pacotes de construção ao invés da unidade-base. Porém, da mesma forma que o PSP proposto por esses autores, o estudo empírico produziu um conjunto de etapas

complementares para o processo de tomada de decisão: estratégia de ataque (CWA), sequência de execução (CWP), estudos dos fluxos de trabalho (BIM 4D e LOB) e dimensionamento da capacidade de recursos (LOB). Verificou-se após a conclusão desta pesquisa a oportunidade de uso do modelo na fase de construção, dando maior ênfase ao processo de controle.

Figura 75 – Fluxograma da estrutura proposta



Fonte: elaborado pelo autor.

No modelo proposto, similar ao trabalho de Sauer (2020), o planejamento de longo prazo deve ser elaborado considerando a abordagem baseado em localização. Para isso, a definição da estrutura hierárquica de locais deve fazer parte do escopo de decisões iniciais de planejamento. Em relação ao trabalho de Sauer (2020), apesar de não considerar a gestão de custos, o modelo avançou na integração da informação entre os fluxos de engenharia e suprimentos, através da composição dos pacotes de sistemas (EWP e PWP).

O modelo aproveitou as características dos projetos da Empresa, tido como projetos ETO, e analisados nos trabalhos de Bortolini (2015), Bataglin (2017) e Reck *et al.* (2020), para adaptar diretrizes e conceitos da *Lean Production*: produção puxada

e redução da variabilidade, usando estratégias da proteção da produção e padronização de atividades. À medida que os pacotes de engenharia detalhados estivessem validados e atendendo aos requisitos do Cliente, o plano de médio prazo autoriza a liberação para a obra ou para aquisição.

O segundo objetivo específico consistiu em **identificar desafios e oportunidades na utilização das informações do modelo BIM para apoiar a integração entre as fases do projeto em empreendimentos complexos**. Por meio do uso dos modelos BIM, constatou-se que é possível extrair as informações para elaboração do cronograma e da mesma forma, relacionar o plano com o emprego dos modelos de simulação 4D. No entanto, a correta extração de informações exige um LOD mínimo de 300, de modo a atender a qualidade dos modelos na etapa de pré-construção. O controle de qualidade adotado se refere a verificação de interferências entre disciplinas, inconsistências entre o modelo e condições existentes no canteiro, padrão de nomenclaturas de famílias e parâmetros e modelagem orientada à produção. A colaboração promovida pelo Ambiente Comum de Dados (CDE) beneficiou a maturidade dos modelos BIM, através do fluxo de informações em pequenos lotes, com ciclos rápidos de revisão e controle de alterações dos modelos.

O uso do BIM facilitou a integração dos processos de engenharia, suprimentos e construção. No entanto, exigiu a elaboração de um cronograma mais detalhado, orientado à visão de fluxo contínuo promovido pela produção puxada que demanda que os locais com tarefas concluídas fluam continuamente e liberem recursos para a próxima estação de trabalho. Um dos desafios encontrados está relacionado à característica da construção civil elaborar cronogramas baseados somente nas atividades de transformação, ignorando a variabilidade dos processos produtivos, visto que os diagramas de barras são ferramentas de controle de projeto e não um sistema de controle da produção.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas conclusões obtidas a partir da realização desta pesquisa, são sugeridas algumas oportunidades para a realização dos estudos futuros relacionados a gestão de empreendimentos EPCM:

- a) Avaliar o modelo proposto a partir da sua aplicação no escopo do PSP servindo de entrada à elaboração do planejamento em fases iniciais do projeto;
- b) Aplicar as definições do modelo proposto conjuntamente ao modelo de Bataglin (2017) focado no planejamento logístico do canteiro e da logística de suprimentos;
- c) Considerar o modelo BIM de processo e verificar a utilidade para o planejamento e controle da produção;
- d) Elaborar um ambiente digital que promova a retroalimentação de status de produção, inspeção de qualidade dos serviços e medições das Empresas instaladoras com o objetivo de coletar dados baseados na localização.

REFERÊNCIAS

- AKEN, J. E. van. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules: Paradigm of the Design Sciences. **Journal of Management Studies**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.
- BALLARD, G. The Last Planner. *Em*: SPRING CONFERENCE OF THE NORTHERN CALIFORNIA CONSTRUCTION INSTITUTE, 1994, Monterey, EUA. **Anais [...]**. Monterey, EUA: IGLC, 1994. p. 1–8.
- BALLARD, H. G. **The last planner system of production control**. 2000. Thesis (Ph.D) - School of Civil Engineering: Faculty of Engineering - University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- BALLARD, H. What Kind of Production Is Construction?. *Em*: 6TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 1998, Guarujá, Brazil. **Anais [...]**. Guarujá, Brazil: [s. n.], 1998. p. 7.
- BARTH, K. B. *et al.* Implementation of Production System Design in House Building Projects: A Lean Journey in Chile. *Em*: 28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 2020, Berkeley, California, USA. **Anais [...]**. Berkeley, California, USA: [s. n.], 2020. p. 397–408.
- BATAGLIN, F. S. *et al.* BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto engineer-to-order. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 173–192, 2018.
- BATAGLIN, F. S. *et al.* Model for planning and controlling the delivery and assembly of engineer-to-order prefabricated building systems: exploring synergies between Lean and BIM. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s. l.], v. 47, n. 2, p. 165–177, 2020.
- BATAGLIN, F. S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados Engineer-to-order**. 2017. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- BERNARDES, M. M. e S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 2001. 247 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BERTRAND, J. W. M.; MUTSLAG, D. R. Production control in engineer-to-order firms. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 30–31, p. 3–22, 1993.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 79–96, 2015.

BORJEGHALEH, R. M.; SARDROUD, J. M. Approaching Industrialization of Buildings and Integrated Construction Using Building Information Modeling. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 164, p. 534–541, 2016.

BORTOLINI, R. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D**. 2015. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE (CII). **AWP Education Primer**. CII Community for Business Advancement, , 2021. Disponível em: [https://www.construction-institute.org/resources/advanced-work-packaging-\(awp\)-overview/awp-education-primer](https://www.construction-institute.org/resources/advanced-work-packaging-(awp)-overview/awp-education-primer). Acesso em: 6 abr. 2022.

ČUŠ-BABIČ, N. *et al.* Supply-chain transparency within industrialized construction projects. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 65, n. 2, p. 345–353, 2014.

DAVE, B. **Developing a Construction Management System Based on Lean Construction and Building Information Modelling**. 2013. 298 f. PhD thesis - University of Salford, UK, 2013.

EASTMAN, C. *et al.* **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho; Eduardo Toledo Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014.

ERGEN, E.; AKINCI, B. Formalization of the Flow of Component-Related Information in Precast Concrete Supply Chains. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 134, n. 2, p. 112–121, 2008.

ETGES, B. M. *et al.* Using BIM With the Last Planner® System to Improve Constraints Analysis. *Em: 28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC)*, 2020, Berkeley, California, USA. **Anais [...]**. Berkeley, California, USA: [s. n.], 2020. p. 493–504.

EYNON, J. **Construction Manager's BIM Handbook**. 1. ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 2016.

FILION, C.; VALDIVIESO, F.; IORDANOVA, I. Integrated Scheduling Platform Based on BIM and Lean Construction. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC)*, 2022, Edmonton, Canada. **Anais [...]**. Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 949–960. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/2021>. Acesso em: 14 set. 2022.

FORMOSO, C. T. *et al.* Developing a Flow-Based Planning and Control Approach for Linear Infrastructure Projects. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC)*, 2022, Edmonton, Canada. **Anais [...]**. Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 1186–1197. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/2042>. Acesso em: 14 set. 2022.

GRABENSTETTER, D. H.; USHER, J. M. Developing due dates in an engineer-to-order engineering environment. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 52, n. 21, p. 6349–6361, 2014.

HAMDI, O. **Advanced Work Packaging from Project Definition through Site Execution: Driving Successful Implementation of WorkFace Planning**. 2013. 274 f. MSc Thesis - Faculty of the Graduate School - The University of Texas at Austin, Austin, 2013.

HARDIN, B.; MCCOOL, D. **BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows**. 2. ed. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2015.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Sciences**, [s. l.], v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 2nd eded. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2001.

HOWELL, G. A. What is Lean Construction. *Em*: 7TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 1999, Berkeley, California, USA. **Anais [...]**. Berkeley, California, USA: [s. n.], 1999. p. 10.

INSIGHT AWP. **Workface planning procedure**. [S. l.], 2014. Disponível em: <https://insight-awp.com/awp-procedures/>. Acesso em: 18 maio 2022.

ISAAC, S.; CURRELI, M.; STOLIAR, Y. Work packaging with BIM. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 83, p. 121–133, 2017.

JÄRVINEN, P. Action Research is Similar to Design Science. **Quality & Quantity**, [s. l.], v. 41, n. 1, p. 37–54, 2007.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, [s. l.], p. 243–264, 1993.

KASSEM, M.; DAWOOD, N.; CHAVADA, R. Construction workspace management within an Industry Foundation Class-Compliant 4D tool. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 52, p. 42–58, 2015.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-Based Management for Construction: Planning, scheduling and control**. 1. ed. New York, USA: Routledge, 2006.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296 f. - VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2000.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. 1992. - Stanfor University, Finland, 1992.

KOSKELA, L. Foundations of Concurrent Engineering. *Em*: ANUMBA, C. J.; KAMARA, J. M.; CUTTING-DECELLE, A.-F. (ed.). **Concurrent engineering in construction projects**. New York: Taylor & Francis, 2007.

KUECHLER, W.; VAISHNAVI, V. The emergence of design research in information systems in North America. **J. of Design Research**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1, 2008.

KYMMELL, W. **Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations**. New York: McGraw-Hill, 2008. (McGraw-Hill construction series).

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Competence and timing dilemma in construction planning. [s. l.], n. 6, *Construction Management and Economics*, p. 339–355, 1988.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 243–266, 1987.

LOTA, P. S.; TM, V.; DAVE, B. Projects Are Becoming 'Lean', but Not Organisations. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 2022*, Edmonton, Canada. **Anais [...]**. Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 693–703. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1999>. Acesso em: 14 set. 2022.

LUKKA, K. The constructive research approach. **Case Study Research in Logistics**, [s. l.], v. Series B, p. 83–101, 2003.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the Manufacturing Process and On-site Installation in ETO Companies. **Procedia CIRP**, [s. l.], v. 17, p. 457–462, 2014.

MATTA, M.; NAKOUZI, R.; KALACH, M. A Framework for Enhancing the Engineering Review Process in Oil and Gas EPC Projects. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 2022*, Edmonton, Canada. **Anais [...]**. Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 318–329. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1967>. Acesso em: 14 set. 2022.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLIVIERI, H. *et al.* Survey Comparing Critical Path Method, Last Planner System, and Location-Based Techniques. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], 2019.

PILEHCHIAN, B.; STAUB-FRENCH, S.; NEPAL, M. P. A conceptual approach to track design changes within a multi-disciplinary building information modeling environment. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s. l.], v. 42, n. 2, p. 139–152, 2015.

RECK, R. H. *et al.* Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo engineer-to-order. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 20, n. 1, p. 105–127, 2020.

RECK, R. H. **Proposta de método para integração da simulação de eventos discretos e visualização BIM 4D no projeto do sistema de produção**. 2013. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SACKS, R. *et al.* Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 136, n. 9, p. 968–980, 2010.

SAUER, N. **Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção baseado em Localização na Construção com apoio de BIM**. 2020. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

SCHRAMM, F. K. **Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão**. 2009. 301 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 165–182, 2015.

SCHULZE, F.; DALLASEGA, P. Empirical Validation of Lean Implementation Barriers in Engineer-to-Order Companies: An Exploratory Study. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 2022, Edmonton, Canada. Anais [...].* Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 796–807. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/2008>. Acesso em: 14 set. 2022.

SCHWABER, K. **Agile project management with Scrum**. Redmond, Wash: Microsoft Press, 2004.

SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. **The Scrum Guide: the definitive guide to Scrum: the rules of the Game**. , 2020. Disponível em: <https://scrumguides.org/download.html>. Acesso em: 1 maio 2022.

SEPPÄNEN, O. **Empirical research on the success of production control in building construction projects**. 2009. 187 f. Dissertation for the degree of Doctor of Science in Technology - Helsinki University of Technology, Finland, 2009.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. Tradução: Maria Teresa Corrêa de Oliveira; Fábio Alher. 2. ed.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TOMMELEIN, I. D.; EMDANAT, S. Takt Planning: An Enabler for Lean Construction. *Em: 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), 2022, Edmonton, Canada. Anais [...].* Edmonton, Canada: [s. n.], 2022. p. 866–877. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/2014>. Acesso em: 14 set. 2022.

TRIBELSKY, E.; SACKS, R. An Empirical Study of Information Flows in Multidisciplinary Civil Engineering Design Teams using Lean Measures. **Architectural Engineering and Design Management**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 85–101, 2011.

UUSITALO, P. *et al.* Waste in Design Management Operations From the Viewpoint of Project Needs. *Em: 28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC)*, 2020, Berkeley, California, USA. **Anais [...]**. Berkeley, California, USA: [s. n.], 2020. p. 73–83.

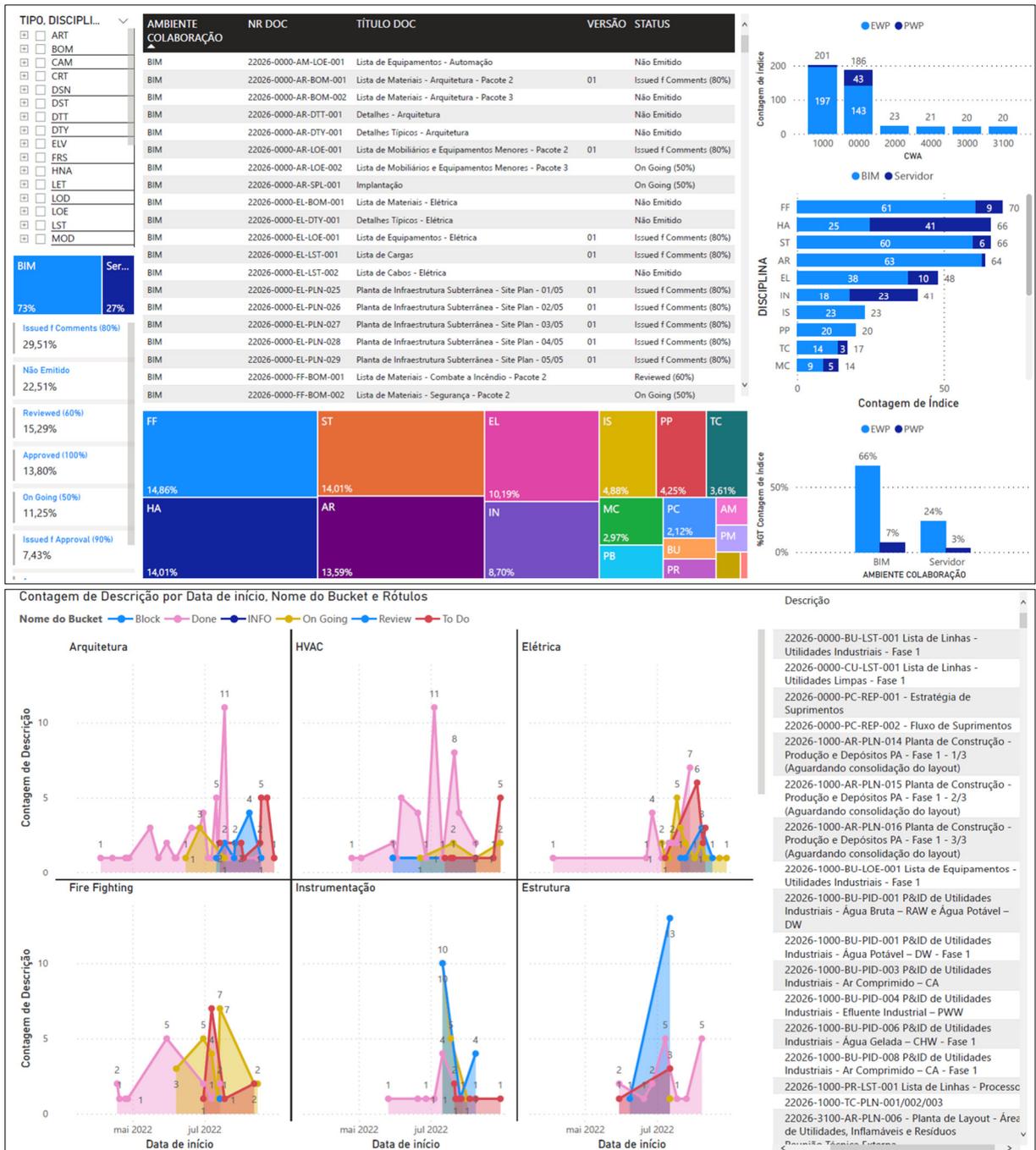
VILASINI, N. *et al.* A framework for subcontractor integration in Alliance contracts. **International Journal of Construction Supply Chain Management**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 17–33, 2012.

WOMACK, J. P.; JONES, D. F.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. Tradução: Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução: Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YU, Q.; LI, K.; LUO, H. A BIM-based Dynamic Model for Site Material Supply. **Procedia Engineering**, [s. l.], v. 164, p. 526–533, 2016.

APÊNDICE B – DASHBOARD ENGENHARIA



Contagem de Descrição por Data de início, Nome do Bucket e Rótulos

Nome do Bucket: Block, Done, INFO, On Going, Review, To Do

Arquitetura

HVAC

Elétrica

Fire Fighting

Instrumentação

Estrutura

Descrição

- 22026-0000-BU-LST-001 Lista de Linhas - Utilidades Industriais - Fase 1
- 22026-0000-CU-LST-001 Lista de Linhas - Utilidades Limpas - Fase 1
- 22026-0000-PC-REP-001 - Estratégia de Suprimentos
- 22026-0000-PC-REP-002 - Fluxo de Suprimentos
- 22026-1000-AR-PLN-014 Planta de Construção - Produção e Depósitos PA - Fase 1 - 1/3 (Aguardando consolidação do layout)
- 22026-1000-AR-PLN-015 Planta de Construção - Produção e Depósitos PA - Fase 1 - 2/3 (Aguardando consolidação do layout)
- 22026-1000-AR-PLN-016 Planta de Construção - Produção e Depósitos PA - Fase 1 - 3/3 (Aguardando consolidação do layout)
- 22026-1000-BU-LOE-001 Lista de Equipamentos - Utilidades Industriais - Fase 1
- 22026-1000-BU-PID-001 P&ID de Utilidades Industriais - Água Bruta - RAW e Água Potável - DW
- 22026-1000-BU-PID-001 P&ID de Utilidades Industriais - Água Potável - DW - Fase 1
- 22026-1000-BU-PID-003 P&ID de Utilidades Industriais - Ar Comprimido - CA
- 22026-1000-BU-PID-004 P&ID de Utilidades Industriais - Efluente Industrial - PWW
- 22026-1000-BU-PID-006 P&ID de Utilidades Industriais - Água Gelada - CHW - Fase 1
- 22026-1000-BU-PID-008 P&ID de Utilidades Industriais - Ar Comprimido - CA - Fase 1
- 22026-1000-PR-LST-001 Lista de Linhas - Processo
- 22026-1000-TC-PLN-001/002/003
- 22026-3100-AR-PLN-006 - Planta de Layout - Área de Utilidades, Inflamáveis e Resíduos