

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
(PSP) COMO SUPORTE ÀS DECISÕES DE PLANEJAMENTO E
CONTROLE EM OBRAS INDUSTRIALIZADAS**

MARIA DANIELLE LEÃO DE OLIVEIRA

São Carlos - SP
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTRUTURAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO
(PSP) COMO SUPORTE ÀS DECISÕES DE PLANEJAMENTO E
CONTROLE EM OBRAS INDUSTRIALIZADAS**

MARIA DANIELLE LEÃO DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Area de concentração: Construção Civil

Orientadora: Dra. Sheyla Mara Baptista Serra
Coorientadora: Dra. Clarissa Notariano Biotto.

São Carlos – SP

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Maria Danielle Leão de Oliveira, realizada em 19/12/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Clarissa Notariano Biotto (UFSCar)

Prof. Dr. Jose Carlos Paliari (UFSCar)

Profa. Dra. Daniela Dietz Viana (UFRGS)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concedido saúde e discernimento para buscar a concretização dos meus objetivos.

Agradeço ao meu pai Carlos Martins de Oliveira, por ter me permitido a oportunidade de estudar, e por ter lutado junto comigo durante a minha jornada pelo conhecimento. Sei que no plano espiritual, meu pai continua torcendo e vibrando com as minhas conquistas, a ele eu dedico o meu título de mestre.

Agradeço a minha mãe Ilza, a minha tia Quitéria e aos meus irmãos, Daniel e Daiany pela torcida, apoio e companheirismo de sempre.

Às minhas professoras orientadoras, Sheyla e Clarissa, pelo conhecimento transmitido, pela paciência e por ter me respeitado como profissional e como pessoa. Agradeço também à UFSCar e ao PPGE Civ por todas as oportunidades de desenvolvimento durante o mestrado.

Aos meus amigos Gabi e Arthur pelo incentivo e parceria que foi importante para que eu continuasse firme diante as dificuldades.

Agradeço à empresa participante desse estudo de caso e seus profissionais pela disponibilidade de participar e contribuir com a realização do trabalho.

Aos meus amigos Renan, Bruno e Tatiane pelo acolhimento no âmbito profissional do mercado de trabalho, o qual foi fundamental para que eu conseguisse conciliar as demandas do dia a dia de um canteiro de obras com as entregas do trabalho de mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio à pesquisa e ensino de pós-graduação.

Por fim, agradeço a educação pública do Brasil, sem a qual eu não teria chegado até aqui.

“Até aqui nos ajudou o Senhor”

1 Samuel 7:12

OLIVEIRA, M. D. L. de. **Estruturação do Projeto do Sistema de Produção (PSP) como suporte às decisões de planejamento e controle em obras industrializadas**. 2022. 176p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, São Carlos - SP, 2022.

RESUMO

A Construção Enxuta procura otimizar os processos de produção, propondo uma mudança de filosofia de gestão que corrobora no planejamento das atividades, redução dos fluxos de processos, melhoria contínua, eliminação dos desperdícios, entre outros aspectos. Entre as principais contribuições para o gerenciamento de obras, está o Sistema *Last Planner* (SLP) de Planejamento e Controle da Produção. Portanto, esse estudo tem por objetivo propor melhorias para o Projeto do Sistema de Produção (PSP) e para o planejamento e controle da produção para empresas que constroem empreendimentos que possuem características de construção industrializada e utilizam o SLP. O método de pesquisa adotado foi o de estudo de caso, utilizando de observação participante, observações indiretas, por meio de relatórios fotográficos, e de análise documental. Foi identificada uma empresa gerenciadora de um empreendimento destinado à indústria química e farmacêutica, o qual foi objeto desse trabalho. No decorrer do trabalho foram coletadas as informações com a empresa participante do estudo e realizou-se uma análise no modelo de gestão que fora aplicado pela empresa durante a construção. O modelo de planejamento e controle da produção utilizado pela empresa apresentou oportunidades de melhorias, como: o desenvolvimento do SLP em todos os seus níveis e de forma colaborativa; e a estruturação do PSP a partir de decisões estratégicas com utilização de ferramentas e indicadores de planejamento que permitissem a transparência dos planos elaborados, como, por exemplo, a linha de balanço (LDB), desvio de prazo e de duração, e aderência ao plano de ataque. Os resultados demonstraram que a elaboração do PSP de forma colaborativa pode dar subsídio para a tomada de decisões estratégicas, as quais podem ser fundamentais para elaboração e desenvolvimento de um planejamento mais assertivo. Ainda, a utilização de ferramentas visuais pode contribuir para o aumento da transparência dos processos de planejamento e controle. Ao final do estudo realizado, foram apresentadas uma série de ações de melhorias relacionadas ao PSP e ao planejamento e controle da produção. O modelo proposto pode ser utilizado para obras com tipologias similares e para empresas construtoras que utilizam os conceitos do SLP e buscam melhorar os seus processos por meio da utilização de ferramentas de planejamento estratégico, como por exemplo, PSP.

Palavras-chave: Construção Industrializada; Construção offsite; Planejamento e Controle da Produção; Sistema *Last Planner* e Sistemas Pré-fabricados.

OLIVEIRA, M. D. L. de. **Structuring the Production System Project (PSP) to support planning and control decisions in industrialized buildings**. 2022. 176p. Thesis (Master's degree). Graduate Program in Civil Engineering, Federal University of São Carlos - UFSCar, São Carlos - SP, 2022.

ABSTRACT

Lean Construction seeks to optimize production processes, proposing a change in management philosophy that supports the planning of activities, reduction of process flows, continuous improvement, and elimination of waste, among other aspects. The Last Planner Production Planning and Control System (LPS) is among the main contributions to construction management. Therefore, this study proposes improvements to Production System Design (PSD) and production planning and control for companies that build industrialized construction projects using LPS. The research method adopted was a case study, using participant observation, indirect observations through photographic reports, and documentary analysis. A company managing an enterprise for the chemical and pharmaceutical industry was identified as the subject of this work. The company's production planning and control model presented opportunities for improvement, such as the development of the LPS at all levels and in a collaborative manner. The structuring of the PSP is based on strategic decisions using planning tools and indicators that would allow for transparency of the plans drawn up, such as line of balance (LOB), deviation from the deadline and duration, and adherence to the plan of attack. The results showed that drawing up the PSP can help make strategic decisions, which can be fundamental to drawing up and developing more assertive planning. Furthermore, using visual tools can increase the transparency of planning and control processes. At the end of the study, a series of improvement actions related to PSP and production planning and control were presented. The proposed model can be used for similar types of projects and for construction companies that use the concepts of LPS and seek to improve their processes through strategic planning tools, such as PSP.

Keywords: Industrialized Construction; Offsite Construction; Production Planning and Control; Last Planner System and Prefabricated Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Visão tradicional do processo de produção.....	24
Figura 2: A produção como um processo de fluxo	25
Figura 3: Etapas de elaboração do PSP para empreendimentos com características repetitivas	28
Figura 4: Representação do sistema de produção.....	31
Figura 5: Gerenciamento do sistema de produção.....	32
Figura 6: Ciclo de preparação e avaliação do processo de PCP.....	36
Figura 7: Dimensões verticais do planejamento e controle da produção.....	37
Figura 8: Sistema <i>Last Planner</i> de planejamento e controle da produção.....	39
Figura 9: Planejamento feito no <i>Pull Planning</i>	41
Figura 10: Registros do PPC de uma obra.....	44
Figura 11: Exemplo de linha de balanço	47
Figura 12: Esquema de localização do CODP	49
Figura 13: Fluxograma das etapas de pesquisa.....	54
Figura 14: Fluxo de produto da empresa	59
Figura 15: Perspectiva e planta de implantação do empreendimento	61
Figura 16: Processo de elaboração da Linha de Balanço	64
Figura 17: Rituais de gerenciamento aplicados na empresa	72
Figura 18: Cronograma de longo prazo no formato MS Project	74
Figura 19: Planejamento de longo prazo no formato de Pull Planning	75
Figura 20: Planejamento semanal no formato MS Excel.....	76
Figura 21: Quadro expositivo do planejamento semanal.....	77
Figura 22: Quadro banco de tarefas	77
Figura 23: Leiaute do canteiro de obra	78
Figura 24: Estratégia de execução do empreendimento	80
Figura 25: Cronograma de fornecimento de peças pré-fabricadas.....	81
Figura 26: Programação semanal de carregamento	82
Figura 27: Romaneio de cargas.....	82
Figura 28: Etiqueta das peças pré-fabricadas de concreto	83
Figura 29: Rede de Precedência das atividades que compõem uma Etapa do empreendimento - versão 1.....	85
Figura 30: Planilha de capacidade de recursos.....	86
Figura 31: Linha de Balanço construída no <i>Prevision</i> - Fluxo ininterrupto das equipes.....	88
Figura 32: Linha de Balanço construída no MS Excel – Fluxo ininterrupto das equipes: LDB - Proposta 1	90

Figura 33: Linha de Balanço construída a partir dos prazos do cronograma <i>Pull Planning</i> ..	91
Figura 34: LDB - <i>Pull Planning</i> destacando várias atividades com execução programadas para acontecerem simultaneamente	92
Figura 35: Linha de Balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 2.....	93
Figura 36: Linha de balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 3	94
Figura 37: Balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços do nível 2.....	95
Figura 38: Balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços do nível 1	95
Figura 39: Rede de Precedência das atividades que compõem uma etapa do empreendimento – versão 2.....	97
Figura 40: Linha de Balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 4.....	99
Figura 41: Registro da reunião de apresentação da proposta de Linha de Balanço para a equipe da obra.....	100
Figura 42: Exemplo da funcionalidade do <i>Prevision</i> – medição atual e as atividades atrasadas	102
Figura 43: Aspecto visual do cronograma após a realização de uma medição	102
Figura 44: Relatório de atividades atrasadas após a realização da medição	103
Figura 45: Delimitação de áreas para estoque no canteiro de obra	117
Figura 46: LDB - executada sobreposta a LDB - planejada (Fundação)	121
Figura 47: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (Pav. Térreo).....	122
Figura 48: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (1º Pav.)	123
Figura 49: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (Cobertura e Fachada).....	124
Figura 50: Exemplo do paralelismo existente na LDB - executada.....	125
Figura 51: Etapas construtivas do serviço de sub-base	128
Figura 52: Disposição das alvenarias do 1º pavimento	129
Figura 53: Disposição das alvenarias do pavimento térreo	130
Figura 54: Gráfico do tempo planejado x executado	133
Figura 55: Gráfico do desvio de duração	135
Figura 56: Gráfico do desvio de prazo	138
Figura 57: Gráfico do percentual de pacotes de trabalho concluídos PPC.....	144
Figura 58: Gráfico do percentual de ocorrência de causas de não cumprimento das atividades	146
Figura 59: Análise da quantidade de restrições mapeadas nas semanas em que o IRR apresentou um percentual de 100%	148
Figura 60: Indicador de remoção de restrições (IRR).....	150
Figura 61: Gráfico do avanço físico da obra.....	152

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Reuniões para coleta de informações	57
Quadro 2: Constructos, subconstructos e fonte de evidências.....	70
Quadro 3: Acompanhamento das reuniões de planejamento de médio prazo	105
Quadro 4: Relatório fotográfico de evolução da obra	109
Quadro 5: Diretrizes para estoque de peças pré-fabricadas no canteiro de obra.....	116
Quadro 6: Aderência das equipes de trabalho à etapa planejada	126
Quadro 7: Desvios de prazo e duração das atividades	131
Quadro 8: Análise do trabalho em progresso associado ao processo produtivo	139
Quadro 9: Análise das atividades planejadas e executadas em paralelo em cada etapa e lote de produção.....	140
Quadro 10: Classificação das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho	145
Quadro 11: Índice de restrições removidas semanalmente.....	147
Quadro 12: Análise do PPC x IRR	149
Quadro 13: Descrição da avaliação de constructos e subconstructos do planejamento.....	152
Quadro 14: Proposição de Melhorias para Planejamento e Controle da Produção	159

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATO	<i>Assemble-to-order</i>
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CODP	<i>Customer order decoupling point</i>
ETO	<i>Engineer-to-order</i>
IRR	Índice de Remoção de Restrições
LDB	Linha de Balanço
LSP	<i>Last Planner System</i>
MTO	<i>Make-to-order</i>
MTS	<i>Make-to-stock</i>
PBL	Planejamento Baseado na Localização
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PPC	Percentual de Plano Concluído
PSP	Projeto do Sistema de Produção
SLP	Sistema <i>Last Planner</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
TFV	Teoria da Transformação, Fluxo e Valor
WoS	<i>Web of Science</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA	18
1.3	OBJETIVOS.....	20
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1	CONCEITOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA	23
2.2	INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	26
2.3	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	27
2.3.1	<i>Definição da sequência de execução e pré-dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base</i>	<i>29</i>
2.3.2	<i>Estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base</i>	<i>29</i>
2.3.3	<i>Definição da estratégia de execução do empreendimento</i>	<i>30</i>
2.3.4	<i>Identificação e projeto dos processos críticos</i>	<i>30</i>
2.4	GESTÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	30
2.5	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	32
2.5.1	<i>Dimensão horizontal do planejamento.....</i>	<i>35</i>
2.5.2	<i>Dimensionamento vertical do planejamento</i>	<i>36</i>
2.6	SISTEMA LAST PLANNER DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	38
2.6.1.1	Planejamento de longo prazo (deve)	39
2.6.1.2	Planejamento fases (deve).....	39
2.6.1.3	Planejamento de médio prazo (pode)	41
2.6.1.4	Planejamento de curto prazo (será).....	42
2.6.1.5	Aprendizagem (feito)	42
2.6.1.6	Planejamento diário ou check-in e check-out.....	42
2.6.2	<i>Indicadores da gestão da produção.....</i>	<i>43</i>
2.6.2.1	<i>Índice de Remoção das Restrições (IRR).....</i>	<i>43</i>
2.6.2.2	<i>Percentual de Planejamento Concluído (PPC)</i>	<i>44</i>
2.6.2.3	<i>Causas da não conclusão dos pacotes de trabalho.....</i>	<i>45</i>
2.7	PLANEJAMENTO BASEADO NA LOCALIZAÇÃO.....	45
2.7.1	<i>Planejamento e controle de sistemas pré-fabricados</i>	<i>47</i>

3	MÉTODO DE PESQUISA	53
3.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA	53
3.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	54
3.2.1	<i>Revisão bibliográfica</i>	<i>55</i>
3.2.2	<i>Fase de entendimento.....</i>	<i>56</i>
3.2.2.1	Coleta informações na literatura	56
3.2.2.2	Coleta de Informações com a empresa	56
3.2.2.3	Seleção de ferramenta de gestão de projetos de construção	58
3.2.2.4	Caracterização da empresa.....	58
3.2.3	<i>Fase de Desenvolvimento</i>	<i>60</i>
3.2.3.1	Descrição do empreendimento	60
3.2.3.2	Ajuste do projeto do sistema de produção (PSP)	63
3.2.3.3	Simulações em linhas de balanço (LDB)	63
3.2.3.4	Acompanhamento do sistema produtivo.....	65
3.2.3.5	Indicadores de gestão da produção oriundos da LDB	66
3.2.3.6	Indicadores de gestão da produção oriundos do SLP.....	68
3.2.3.6	Aplicação de questionário de avaliação de estudo de caso	68
3.2.4	Fase de análise e reflexão dos resultados.....	68
4	ESTUDO EXPLORATÓRIO.....	71
4.1	MODELO DE GESTÃO EXISTENTE NA OBRA.....	71
4.1.1	<i>Disposição do canteiro de obra</i>	<i>78</i>
4.1.2	<i>Definição da estratégia e da sequência de execução.....</i>	<i>79</i>
4.2	MODELO DE GESTÃO EXISTENTE NA FÁBRICA DE PRÉ-FABRICADOS	81
4.3	APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO.....	83
4.3.1	<i>Linha de balanço.....</i>	<i>84</i>
4.3.1.1	Definição da rede de precedência	84
4.3.1.2	Elaboração da planilha de capacidade de recursos.....	86
4.3.1.3	Elaboração de cenários em LDB	86
4.3.1.4	Elaboração de cenários em LDB no MS Excel	89
4.3.1.5	Elaboração de LDB com base no Pull Planning.....	91
4.3.1.6	Balanceamento de pacotes de trabalho.....	92
4.3.1.7	Ajuste da planilha de capacidade de recursos.....	94
4.3.1.8	Comparação Entre a LDB – Pull e a LDB Proposta 3.....	96
4.3.1.9	Discussão sobre a LDB preliminar proposta	96
4.3.1.10	Ajuste da rede de precedência	97
4.3.1.11	Ajuste da LDB proposta.....	98

4.3.1.12	Apresentação da nova LDB.....	100
4.3.1.13	Aprovação da LDB	101
4.3.1.14	Controle da LDB no Prevision.....	101
4.3.2	<i>Acompanhamento do planejamento da obra</i>	<i>104</i>
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	114
5.1	ANÁLISE DA GESTÃO DA PRODUÇÃO A PARTIR DO ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES DE PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO	114
5.2	INDICADORES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO OBTIDOS A PARTIR DA LINHA DE BALANÇO	119
5.2.1	<i>Aderência ao plano de ataque.....</i>	<i>125</i>
5.2.2	<i>Comparação entre os tempos de duração planejados e os tempos de duração executados nas atividades.....</i>	<i>130</i>
5.2.3	<i>Desvio de duração e desvio de prazo.....</i>	<i>134</i>
5.2.4	<i>Análise do trabalho em progresso</i>	<i>139</i>
5.2.5	<i>Análise do paralelismo na execução das atividades.....</i>	<i>139</i>
5.2.6	<i>Ocorrência de quebra da rede de precedência das atividades</i>	<i>142</i>
5.3	INDICADORES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO OBTIDOS A PARTIR DO SISTEMA LAST PLANNER DE PLANEJAMENTO	142
5.3.1	<i>Percentual de pacotes concluído – PPC</i>	<i>142</i>
5.3.2	<i>Índice de remoção das restrições – IRR.....</i>	<i>146</i>
5.3.3	<i>Avanço físico do empreendimento.....</i>	<i>150</i>
5.4	ANÁLISE CRÍTICA	152
6	PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS.....	156
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	161
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	164
	APÊNDICE 1 - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA.....	171
	APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	173
	ANEXO 1 - DADOS DA PESQUISA JUNTO AO CEP – UFSCAR.....	176

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o escopo da pesquisa, incluindo as considerações iniciais sobre o tema em estudo, a justificativa do trabalho, os objetivos do estudo e, por fim, a estrutura do trabalho.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A industrialização da construção busca inserir nos canteiros de obras processos industriais que permitem a mecanização e a padronização das atividades que compõem o sistema produtivo. O processo de industrialização da construção proporciona a otimização de tempo e economia de recursos, além de proporcionar um maior controle de qualidade do produto.

Nesse contexto, a Construção Enxuta (*Lean Construction*) tem como base a industrialização de processos, e utiliza a filosofia da linha de montagem da indústria automobilística para melhorar o seu processo de produção. O conceito de mentalidade *lean* propõe uma mudança de filosofia de gestão visando aspectos como: eliminação de desperdícios, redução dos fluxos dos processos, redução da variabilidade e dos tempos de ciclo, resolução rápida dos problemas e a melhoria contínua.

A prática da construção fora do canteiro de obra consiste na produção de elementos construtivos em ambiente fabril (onde existe um controle de qualidade rigoroso) de modo que esses produtos chegam na obra prontos para serem instalados, montados ou aplicados, reduzindo as parcelas de atividades de fluxo executadas dentro dos canteiros de obras.

Como exemplo de soluções industrializadas inseridas no processo de construção, podem ser mencionadas: painéis arquitetônicos; painéis metálicos; banheiro pronto; estrutura pré-fabricada de concreto; estrutura de aço; *steel frame*; placas cimentícias e *wood frame*, entre outros.

Essas soluções construtivas apresentam vantagens como: otimização do tempo e redução dos prazos de execução; aumento da qualidade, proveniente de controles rigorosos de produção presente em ambiente fabril; redução das atividades

de fluxos; sustentabilidade, decorrente da diminuição de desperdícios; maior controle de produção e redução de retrabalhos que são provenientes de falhas de execução.

Por outro lado, obras que possuem um prazo curto, e que têm a maioria dos seus elementos construtivos fabricados fora do canteiro, inclusive podendo haver diferentes empresas fornecedoras, requerem um planejamento e controle eficiente. Desse modo, para que o processo construtivo industrializado seja eficaz, é necessário gerenciamento, coordenação e planejamento das atividades que compõem o processo de produção de empreendimentos, de modo a eliminar possíveis interferências no fluxo de produtos e informações que possam ser prejudiciais à continuidade das etapas de construção.

No tocante à organização dos sistemas de produção, o projeto do sistema de produção (PSP) é uma atividade de gestão de operações que deve ser realizada antes do início das atividades de produção. O PSP representa a solução básica para redução de problemas inerentes aos sistemas produtivos, como, por exemplo, a variabilidade e as incertezas (KOSKELA, 2001).

O PSP deve ser entendido como uma atividade de gestão da produção que possui relação com o processo de desenvolvimento do produto e com o processo de planejamento da produção. Ou seja, o PSP pode ser visto como um dos elos de ligação entre o produto a ser criado e o sistema de produção que o criará, de forma a tornar o processo de planejamento e controle da produção simples e efetivo (SCHRAMM, 2009).

Para Meredith e Shafer (2002), as principais necessidades do planejamento de projetos são conhecer as atividades que serão executadas e a ordem em que essas atividades devem acontecer, saber as durações das atividades e os recursos de produção que serão necessários. Já no quesito de controle estão a previsão das falhas e a percepção da possibilidade de realocação de recursos para que o projeto se mantenha dentro do prazo.

Segundo Meredith e Shafer (2002), o planejamento do projeto é o quesito fundamental para o seu sucesso, pois nessa etapa ocorrem decisões importantes que interferem diretamente na consecução dos objetivos e das metas.

Buscando promover melhorias para o planejamento e controle da produção (PCP) para empreendimentos da construção, Ballard e Howell criaram o *Last Planner System* (LSP), denominado em português de *Sistema Last Planner* (SLP) de

planejamento e controle da produção, o qual tem como base os princípios da construção enxuta.

De tal modo, o SLP se apresenta como uma alternativa frente ao planejamento e controle da produção (PCP) tradicional, propondo planejar e controlar os processos produtivos por meio de ações colaborativas que permitam uma maior aderência entre os planos planejados e o executado, além buscar proteger os processos de produção contra as incertezas e variabilidade (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012).

O SLP tem sido mais utilizado para obras de edifícios de múltiplos andares correspondendo a empreendimentos residenciais ou comerciais, como é o caso do estudo realizado por Vargas e Formoso (2020), e do trabalho de Fabro *et al.* (2020). O foco para soluções direcionadas para empreendimentos industriais tem sido menos explorada pelos pesquisadores.

Apesar de existirem muitos estudos sobre o SLP, há poucos estudos na literatura referentes a sistemas de PCP que integrem a produção de projetos, a fabricação das peças e a montagem destas no canteiro de obras (BULHÕES, 2009).

Diante dos aspectos apresentados, esse estudo pretende propor uma estruturação do PSP como suporte às decisões de planejamento e controle em obras industrializadas. O objeto de estudo desse trabalho é um empreendimento industrial que apresenta um projeto de estrutura mista (pré-fabricados de concreto, perfis de aço, painéis pré-fabricados de concreto e cobertura metálica). A obra passou a ser objeto desse estudo pelo fato de possuir características de construção industrializada e pela adesão da empresa gerenciadora em fornecer os dados necessários para a investigação. O estudo de caso apresentado foi vivenciado e acompanhado pela pesquisadora.

O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSCar tendo recebido a seguinte numeração: 5.075.505. Os dados de aprovação estão presentes no item de Anexo desse documento.

As particularidades da obra a ser estudada, delimitaram o problema de pesquisa desse projeto e originaram a seguinte questão que norteou o desenvolvimento desse estudo: como planejar e controlar o processo produtivo de empreendimentos que possuem características de construções industrializadas?

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido a sua complexidade, o setor da construção está sujeito a diferentes tipos de perdas, fato esse que vem solicitando melhoria nos aspectos tecnológicos e gerenciais. Muitos dos desperdícios presentes no processo de produção da construção de uma edificação estão associados às atividades de fluxo (transporte, espera e inspeção, entre outros), as quais não agregam valor ao produto final, e por isso precisam ser planejadas e controladas (KOSKELA, 2000).

Nesse sentido, a industrialização da construção civil é uma alternativa que visa melhorar o processo construtivo a partir de métodos para a racionalização do processo e a mecanização das atividades no canteiro de obra. Desse modo, o conceito de mentalidade enxuta trabalha com práticas que buscam a eliminação das perdas durante o processo de produção (KOSKELA, 1992).

Por outro lado, a industrialização da construção solicita melhorias nos processos de gestão da cadeia produtiva devido ao fato de que algumas atividades produtivas, que antes eram produzidas no local, passaram a ser produzidas por outra entidade ou externamente ao local de montagem (O'BRIEN *et al.*, 2008).

Segundo Lessing (2006), conforme as obras vão se industrializando, aumenta a necessidade de se administrar uma rede de fornecedores, que precisam trabalhar integrados e sob uma pressão maior para entregar os empreendimentos em um prazo curto. Diante disso, é preciso que o planejamento seja organizado envolvendo todas as partes interessadas para que os planos de atividades e os projetos individuais sejam alinhados de forma colaborativa (TREBBE; HARTMANN; DORÉE, 2015).

Nessa perspectiva, para a obtenção de um fluxo de trabalho eficaz e com o mínimo de geração de desperdício, é necessário um planejamento da construção que considere diferentes níveis de decisão e uma gestão da produção efetiva (SACKS *et al.*, 2010).

Segundo Sacks, Akinci e Ergen (2003), na maioria dos casos, a taxa de produção dos elementos construtivos nas fábricas é maior do que a taxa de içamento e montagem das peças no canteiro de obra, podendo ocasionar a presença de estoques ociosos nos canteiros, comprometendo a logística interna da obra e o processo de produção das fábricas.

Para garantir a eficiência do sistema, deve haver uma comunicação precisa entre obra e fábrica e um planejamento e controle estruturado que considere a

integração entre os processos de fabricação, de transporte e de montagem. Dessa forma, para cumprir prazos e a melhoria contínua do processo de produção, as obras que possuem etapas do processo da construção fora do canteiro necessitam que o planejamento das atividades promova a organização, coordenação, controle da produção, transporte, armazenamento, e aplicação dos elementos construtivos de maneira adequada.

Em seu estudo, Viana (2015) elaborou um modelo integrado de planejamento e controle de sistemas de construção pré-fabricados do tipo *Engineer-to-Order* (ETO), onde apresentou um conjunto de processos de planejamento e controle para integrar os processos da fábrica e da obra. Bortolini (2015) realizou um estudo no qual apresentou um modelo para o planejamento e controle logístico de obras em sistemas pré-fabricados do tipo ETO, utilizando um modelo virtual associado com o cronograma físico da obra, para apoiar o planejamento e controle logístico. No seu estudo, Bortolini apresentou um conjunto de indicadores para controle da produção relacionados à gestão logística.

Entretanto, os trabalhos realizados por Viana (2015) e por Bortolini (2015) tiveram ênfase em empresas do tipo ETO e possuem objetivos diferentes do estudo em questão, onde busca-se estruturar o projeto do sistema de produção para subsidiar as decisões do planejamento e controle da produção, e para isso, considerou-se os processos do ponto de vista de uma gerenciadora.

O projeto do sistema de produção (PSP) é o estudo de alternativas de organização da produção que visa escolher a melhor estratégia para alcançar os resultados requeridos (MEREDITH; SHAFER, 2002). O PSP visa descrever os processos a serem usados na produção (GAITHER; FRAZIER, 2001). Segundo os mesmos autores, os estudos do sistema de produção pretendem determinar as etapas do processo tecnológico que será empregado, a escolha dos equipamentos, o projeto do empreendimento, o leiaute das instalações, a necessidade de mão de obra e a supervisão.

Schramm (2009) destaca quatro papéis básicos do PSP: (a) promover discussões e questionamentos; (b) incentivar o uso de uma visão sistêmica; (c) sistematizar, formalizar e registrar decisões; e (d) determinar um estado futuro a ser alcançado. Schramm (2009) destaca que uma das funções do PSP é determinar uma estrutura que, se gerenciada adequadamente durante a fase de execução, poderá fazer com que os objetivos do empreendimento sejam alcançados, facilitando ao

planejamento e controle da produção buscar a aderência do executado ao cenário futuro que foi estabelecido inicialmente.

Para o melhor entendimento e gerenciamento do sistema de produção, torna-se fundamental a utilização de ferramentas de planejamento, tais como a rede de precedência e a Linha de Balanço (LDB) (BIOTTO, 2012). A partir da rede de precedência, é possível visualizar a relação de dependência entre as atividades do projeto, permitindo assim, a eliminação das restrições e a identificação dos gargalos existentes no processo. A LDB é uma ferramenta de planejamento visual baseada na localização e consiste em um diagrama que representa as unidades-base no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal (BIOTTO *et al.*, 2017).

A ferramenta da LDB pode ser empregada para estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base de produção (SCHRAMM, 2009), os quais estão relacionados ao conjunto de operações realizadas por cada equipe de trabalho no processo de execução com relação às dimensões espaço e tempo, tornando possível a identificação de interferências entre as equipes.

Diante das informações apresentadas, esse estudo se justifica pelo fato de que um sistema construtivo industrializado eficiente precisa possibilitar a construção de empreendimentos de qualidade, a redução de custos, de desperdícios e a entrega da obra em um prazo definido. Portanto, a existência de falhas no planejamento da cadeia de produção pode comprometer o funcionamento de todas as etapas do processo construtivo. Por isso, se faz necessário a realização de estudos no âmbito do planejamento e controle da produção afim de identificar oportunidades de melhorias no quesito do gerenciamento do sistema produtivo.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho consistiu em desenvolver e melhor estruturar o Projeto do Sistema de Produção (PSP) para apoiar, subsidiar e nortear o planejamento e controle da produção de construção industrializada, para construtoras que utilizam os conceitos do Sistema *Last Planner* de Planejamento e Controle da Produção.

Além do objetivo geral, foram apresentados alguns objetivos específicos:

- a) Descrever e analisar o sistema de gestão de um empreendimento que possuía característica de construção industrializada e utilizava o Sistema *Last Planner* de Planejamento de Controle da Produção;
- b) Propor maneiras de se utilizar e a ferramenta da Linha de Balanço para melhor estruturar o Projeto do Sistema de Produção (PSP);
- c) Propor a utilização do PSP estruturado como suporte para as decisões que serão tomadas no Sistema *Last Planner*;
- d) Apresentar indicadores de planejamento oriundos da Linha de Balanço;
- e) Propor melhorias para o planejamento e controle da produção com base nos conceitos do Sistema *Last Planner* de Planejamento e Controle da Produção.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em sete capítulos. O primeiro capítulo é a introdução, composto pelas considerações iniciais sobre o tema em estudo, justificativa, objetivos do estudo e por último, estrutura do trabalho.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos da construção enxuta, industrialização da construção, gestão do sistema de produção, projeto do sistema de produção, planejamento e controle da produção e planejamento e controle de sistemas pré-fabricados.

O terceiro capítulo descreve o método a ser utilizado na pesquisa, incluindo a estratégia de pesquisa, o delineamento da pesquisa, no qual se descreve as fases que serão realizadas no decorrer do trabalho. No terceiro capítulo apresenta-se a caracterização da empresa participante do estudo; a descrição do empreendimento no qual foi realizado o estudo de caso e as ferramentas e indicadores de gestão que foram utilizados no trabalho.

Enquanto o quarto capítulo apresenta o estudo exploratório realizado com a empresa participante do estudo de caso, com foco em descrever o modelo de gestão existente na obra; as ferramentas de planejamento sugeridas pela pesquisadora, bem como o produto obtido a partir das ferramentas utilizadas.

No quinto capítulo descreve-se as análises e discussões dos resultados obtidos.

O sexto capítulo apresenta as proposições de melhorias como o produto do trabalho realizado. E o sétimo capítulo é composto pelas considerações finais.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas nesse trabalho e os apêndices, que apresentam os formulários de caracterização da empresa participante, do empreendimento estudado e o questionário de avaliação do estudo de caso. O Anexo 1 corresponde aos dados de aprovação da pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da UFSCar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para entendimento de conceitos relacionados ao planejamento logístico de processos no contexto da construção industrializada, serão apresentadas algumas informações inerentes ao tema em estudo. Dessa maneira, no decorrer do capítulo da revisão bibliográfica serão dispostos conteúdos sobre os aspectos relacionados aos seguintes assuntos: Conceitos da Construção Enxuta; Industrialização da Construção; Gestão do Sistema de Produção; Projeto do Sistema de Produção; Planejamento e Controle da Produção; Sistema *Last Planner* de Planejamento e Controle da Produção e Planejamento e Controle de Sistemas Pré-Fabricados.

2.1 CONCEITOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA

O conceito de Mentalidade Enxuta (*Lean Thinking*) está baseado no Sistema Toyota de Produção (STP). O STP surgiu depois da Segunda Guerra Mundial como uma tentativa de melhorar a produtividade da indústria automotiva, tornando-se um sistema que provocou mudanças fundamentais ao sistema de gestão da produção (HOPP; SPEARMAN, 2000).

Segundo Ohno (1988), a base do STP é a absoluta eliminação do desperdício, sustentada por dois pilares: *just-in-time* e autonomação. A autonomação visa o aumento da produtividade por meio da separação dos tempos das atividades das máquinas e dos operadores, sendo um processo que permite mecanismos como a parada automática das máquinas evitando a ocorrência de erros em série (OHNO, 1988). O *just-in-time* é um princípio bastante considerado no universo da produção enxuta e foi concebido por Taiichi Ohno para facilitar o fluxo (WOMACK; JONES, 1998). O *just-in-time* significa que um processo de fluxo necessário à linha de montagem chega na linha no momento necessário e somente na quantidade necessária (OHNO, 1988).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o *just-in-time* significa produzir bens e serviços exatamente quando são necessários, utilizando, equipamentos, instalações, materiais e recursos, para que não existam estoques e para que os clientes não tenham que esperar.

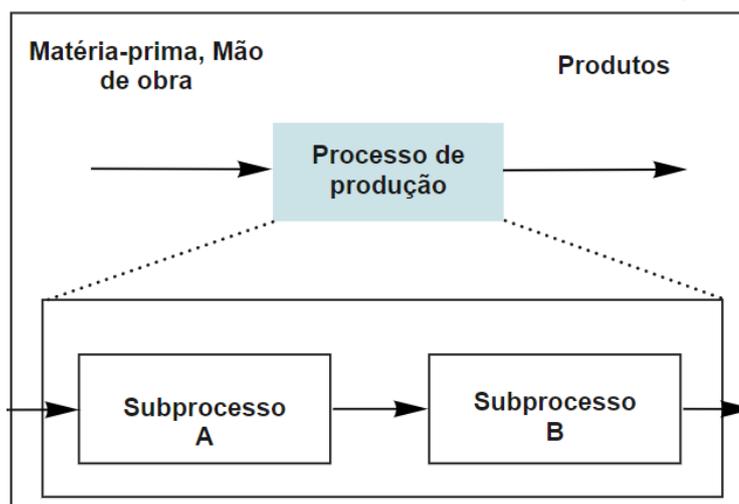
O *just-in-time* solicita entregas mais frequentes com quantidades menores de insumos comprados, desse modo, tende a ocasionar mudanças no sistema de recebimento dos materiais (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006). Dessa forma, o *just-in-time* implica na necessidade de trabalhar com fornecedores que sejam de qualidade e confiáveis, para que se desenvolvam relações de longo prazo com confiabilidade e disciplina, onde seja possível a troca de informações entre contratante e fornecedores possibilitando a diminuição de reservas e estoques de insumos (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

Além disso, o *just-in-time* trabalha com estoques pequenos para que seja criado um fluxo contínuo e um sistema puxado, colocando a logística no processo de produção (LESSING; STEHN, 2006).

Koskela (1992), fez uma adaptação de conceitos e princípios do STP para a construção civil, o que resultou em modelo conceitual que predomina na visão tradicional da construção, trata-se do modelo de conversão que pode ser visto na Figura 1.

O modelo apresenta o processo de produção como um processo de conversão, no qual os insumos (mão de obra, matéria prima, etc.) são transformados em produtos intermediários ou final (KOSKELA, 1992). Por outro lado, pode-se dividir o processo de conversão em subprocessos, de forma que o custo total é minimizado através da redução dos custos de cada subprocesso. Desse modo, o valor do produto produzido no processo está associado apenas ao custo dos insumos do processo (KOSKELA, 1992).

Figura 1: Visão tradicional do processo de produção



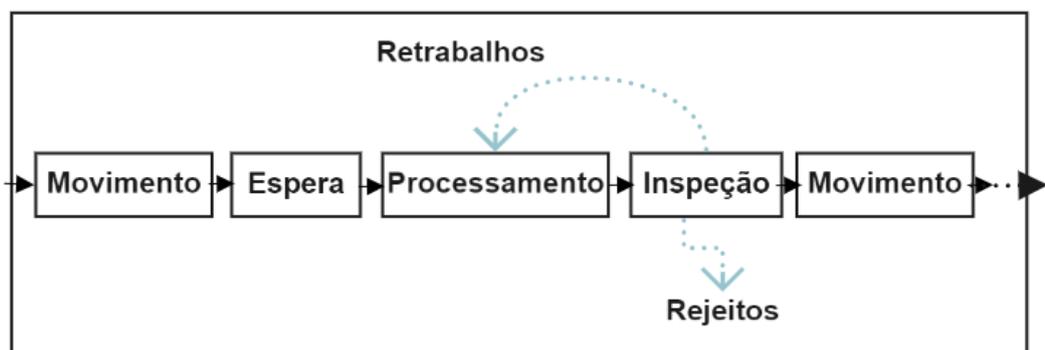
Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

Segundo Koskela (1992), o modelo de produção como processo de conversão aplicado para gerenciar as operações produtivas é enganoso. A seguir, apresenta-se algumas críticas relacionadas ao modelo de produção feitas por Koskela (1992):

- O modelo abstrai os fluxos físicos entre as conversões (espera, movimentação, atividades de inspeção), pois se concentra apenas em conversões. No entanto, os fluxos físicos são atividades que não agregam valor.
- O fato de o modelo focar unicamente no controle e melhorias dos subprocessos e não no sistema como um todo pode deteriorar a eficiência do fluxo global.
- Quando o modelo não considera os requisitos e exigências dos clientes internos e externos, pode acontecer perdas e interrupções nos fluxos físicos.

Visando considerar os mais importantes aspectos da produção, sobretudo os que faltam no modelo de conversão, Koskela (1992) apresenta um novo modelo de produção, no qual ele define a produção como um fluxo de material e/ou informações que se inicia com a matéria prima e termina com o produto final, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: A produção como um processo de fluxo



Fonte: Adaptado de Koskela (1992)

De acordo com a Figura 2, por meio do fluxo ocorre o processamento (conversão) do material, a inspeção, podendo estar à espera ou em movimento, sendo essas atividades diferentes. Neste modelo, a fase de processamento representa os processos de conversão, enquanto a inspeção, esperas e movimentação representam os processos de fluxos da produção (KOSKELA, 1992).

Koskela (2000) afirma que as atividades de espera, inspeção e movimentação não agregam valor ao produto final, de modo que, justamente por não adicionarem valor, estas atividades merecem atenção para promover a otimização de todo o processo.

Dessa maneira, o modelo proposto por Koskela (2000) considera três conceitos de processo: transformação, fluxo e valor (TFV). A chamada teoria TFV, propõe a necessidade de utilizar as três conceituações de forma integrada e equilibrada. A estrutura básica desse modelo é a eliminação de perdas no processo.

Para gestão da produção, Koskela (1992) apresenta onze princípios referentes à proposta da produção como fluxo:

- Reduzir a atividades que não agregam valor;
- Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes;
- Reduzir a variabilidade;
- Reduzir o tempo de ciclo;
- Simplificar pela diminuição do número de pessoas e/ou partes;
- Aumentar a flexibilidade na execução de produto;
- Aumentar a transparência;
- Controle em todo o processo;
- Introduzir melhoria contínua ao processo (Kaizen);
- Balancear as melhorias dos fluxos com as melhorias das conversões;
- Fazer benchmarking.

Nesse contexto, a Construção Enxuta (*Lean Construction*), é um movimento que possui o foco de promover uma mudança no paradigma de gestão da produção (KOSKELA, 1992).

2.2 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A industrialização da construção pode ser entendida como um processo que reduz a parcela de atividades de construção nos canteiros de obras, transferindo o trabalho para as fábricas para que as atividades sejam realizadas em um ambiente controlado (KOSKELA, 2003).

Por outro lado, a partir da industrialização, o processo construtivo tende a se tornar mais complexo, pela necessidade de dois locais de produção (canteiro de obra e fábrica), desse modo, necessita de maior coordenação (KOSKELA, 1992). Entretanto, a transferência de atividades para as fábricas gera demandas por melhorias na gestão da cadeia de suprimentos e no processo de logística (LESSING; STEHN; EKHOLM, 2005).

De tal modo, o sistema de pré-fabricação pode fornecer vantagens quando comparado com método tradicional de construção, tais como: redução dos custos totais; diminuição do tempo de construção, pois os componentes são entregues na obra prontos para serem montados; melhoria da qualidade por meio da supervisão na fase de fabricação e a redução de perdas na produção através da diminuição das atividades que não agregam valor (ZHAI; ZHONG; HUANG, 2015).

Existe uma variedade de termos referentes a industrialização da construção, entre eles estão a pré-montagem, pré-fabricação, modularização e produção *Off-Site* (MAO *et al.*, 2015). Portanto, esse método de construção está caracterizado por: produção num ambiente fabril; componentes pré-fabricados que são produzidos em peças, unidades ou módulos; transporte dos componentes até o canteiro de obras; instalação e montagem dos componentes que constituem uma edificação (MAO *et al.*, 2015).

2.3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

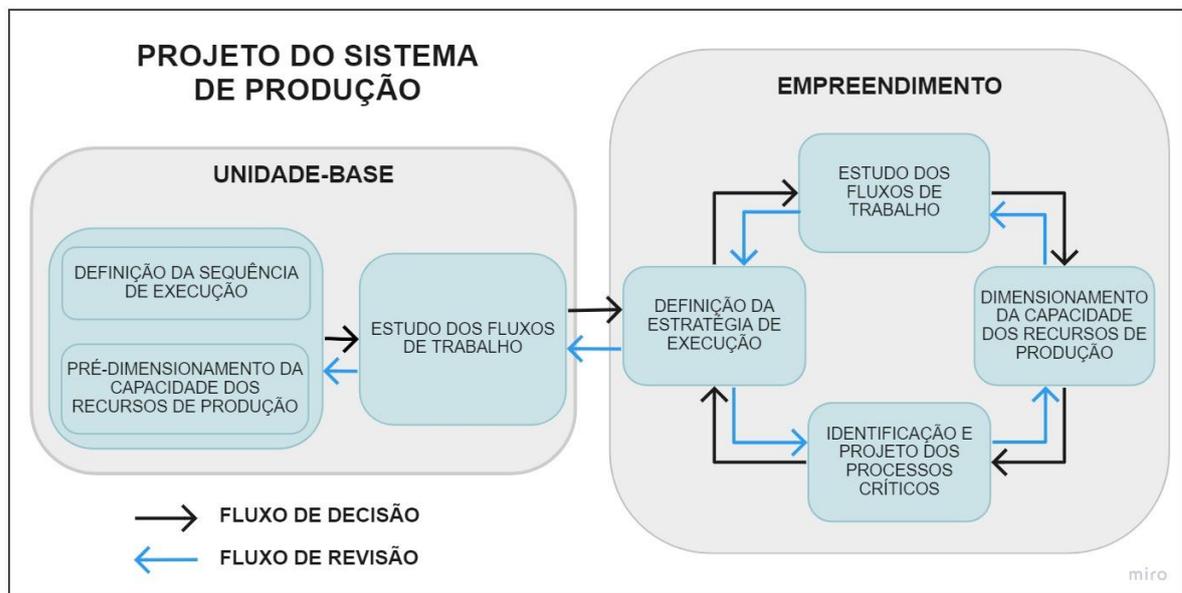
O projeto do sistema de produção (PSP) visa descrever os processos a serem usados na produção (GAITHER; FRAZIER, 2001). Segundo os mesmos autores, os estudos do sistema de produção pretendem determinar as etapas do processo tecnológico que será empregado; a escolha dos equipamentos; o projeto do empreendimento; o layout das instalações; a necessidade de mão de obra e a supervisão.

Segundo Koskela (2001), o PSP representa uma solução simples para a redução de fatores que interferem negativamente os sistemas produtivos, tais como: a variabilidade, e a incerteza. Desse modo, quanto mais rápido a realização desta etapa, maiores as chances de inserção de medidas que promova a redução da parcela de atividades que não agregam valor ao sistema de produção (SCHRAMM, 2009).

De tal modo, é recomendado que o PSP seja uma atividade de gestão realizada antes do início das atividades de produção, além disso, o PSP deve ser visto como uma atividade gestão da produção que abrange o processo de desenvolvimento do produto e também o processo de planejamento da produção (SCHRAMM, 2009). Segundo o mesmo autor, o PSP pode ser entendido como um elo de ligação entre o produto que será produzido e o sistema de produção que irá produzi-lo, e é desenvolvido para tornar o processo de planejamento e controle da produção simples e efetivo.

De acordo com Schramm (2004), as decisões que compõem o projeto do sistema de produção na construção civil são baseadas em seis etapas: definição da sequência de execução e dimensionamento dos recursos de produção do unidade-base (forma de repetição); estudo dos modelos de fluxo de produção do lote-base; estudo dos fluxos de trabalho; definição da estratégia de construção do empreendimento; dimensionamento da mão de obra e equipamentos; identificação e projeto dos processos críticos, conforme o modelo de elaboração do PSP disposto na Figura 3.

Figura 3: Etapas de elaboração do PSP para empreendimentos com características repetitivas



Fonte: Schramm (2004)

O foco desse trabalho estará concentrado em quatro etapas que compõem o PSP: definição da sequência de execução da produção; pré-dimensionamento da

capacidade dos recursos de produção; estudo dos fluxos de trabalho; definição da estratégia de execução; e a identificação e projeto de processos críticos.

A seguir, são descritas as etapas que compõem o modelo de elaboração do PSP proposto por Schramm (2004) e que serão desenvolvidas nesse estudo.

2.3.1 Definição da sequência de execução e pré-dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base

Para Schramm (2004), a definição da sequência de execução da unidade-base de produção e o pré-dimensionamento dos recursos de produção que serão utilizados na execução da obra são feitos a partir da coleta de informações iniciais sobre o empreendimento. A unidade-base de produção é uma unidade repetitiva que pode ser composta por um pavimento, um apartamento, um bloco, ou uma casa, depende das características do empreendimento em estudo. Além disso, nessa etapa são discutidos sobre outras definições fundamentais para o PSP, como o nível de integração vertical, os materiais ou processos que serão executados pela empresa ou por fornecedores externos, bem como a escolha das tecnologias construtivas que serão empregadas, as quais envolvem os materiais, os sistemas construtivos e os equipamentos.

2.3.2 Estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base

As definições da etapa anterior fornecem as informações necessárias para realização do estudo dos fluxos de trabalho na unidade-base do empreendimento. Nessa fase procura-se definir os fluxos de trabalho na unidade-base de produção, os quais estão relacionados ao conjunto de operações realizadas por cada equipe de trabalho no processo de execução com relação às dimensões espaço e tempo, tornando possível a identificação de interferências entre as equipes (SCHRAMM, 2009). A ferramenta da Linha de Balanço (LDB) pode ser empregada no estudo do fluxo de trabalho da unidade-base de produção. Algumas características da LDB serão mencionadas no item 2.7.

2.3.3 Definição da estratégia de execução do empreendimento

A definição da estratégia de execução do empreendimento começa com divisão deste em lotes de trabalho menores, criando um número de “pequenas partes do empreendimento” dentro do empreendimento maior. Essas partes que podem ser construídas de forma sequencial ou em paralelo. Os lotes abrangem um número de unidades-bases, para as quais serão previstas as equipes de trabalho, e busca-se, sempre que possível, que as equipes desenvolvam suas atividades em um fluxo de trabalho contínuo conforme um ritmo pré-estabelecido (SCHRAMM, 2009).

Dessa forma, para se definir a estratégia de ataque do empreendimento, são simuladas e verificadas algumas alternativas de execução buscando escolher a mais adequada considerando os seguintes aspectos: a influência no prazo final de conclusão da obra; as limitações de fornecimento dos fornecedores de suprimentos; a capacidade de produção dos processos críticos (gargalos) para suprir a demanda gerada e a viabilidade financeira da alternativa escolhida, considerando o volume de recursos necessários para a sua execução (SCHRAMM, 2009).

2.3.4 Identificação e projeto dos processos críticos

Alguns processos da produção merecem uma maior atenção quanto a sua preparação e execução, e através do seu projeto, procura-se diminuir os efeitos negativos que esses possam causar ao sistema de produção. Tais processos são denominados processos críticos, os quais representam os gargalos do sistema de produção, ou seja, processos que limitem ou possam restringir a capacidade de produção.

2.4 GESTÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

O sistema de produção é definido como uma rede de processos orientados por um objetivo, na qual as entidades fluem (HOPP; SPEARMAN, 1996). Hopp e Spearman (1996) apresentam alguns aspectos fundamentais para essa definição:

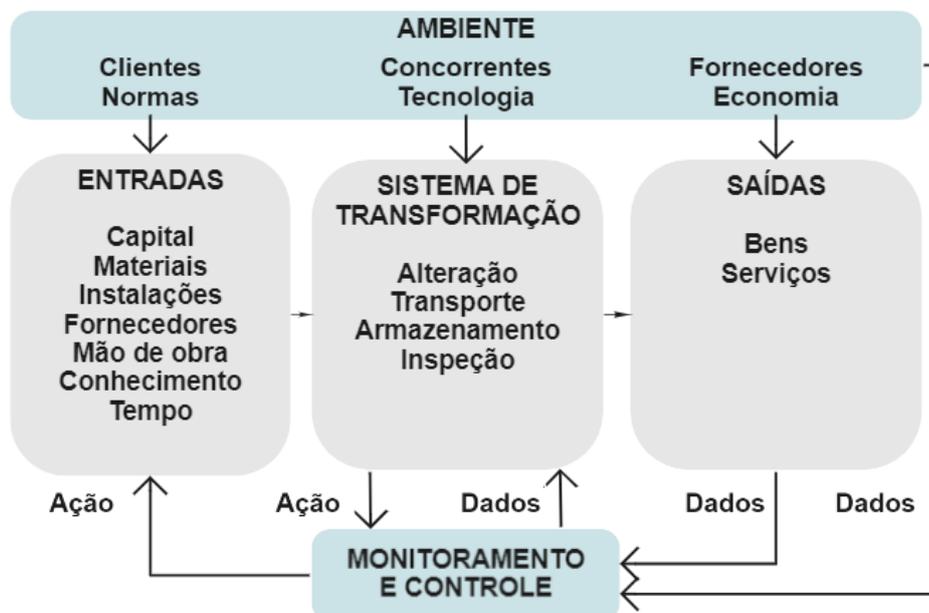
- O sistema de produção é composto por processos físicos ou gerenciais;
- Entidades são as partes a serem manufaturadas e as informações utilizadas no controle do sistema;

- O fluxo das entidades através do sistema mostra como os materiais e as informações são processadas, de forma que o gerenciamento destes fluxos é a principal tarefa da gestão da produção;
- O sistema de produção é uma rede de partes que interagem, de modo que a gestão destas interações é de fundamental importância, estando acima da gestão individual dos processos e entidades.

Assim, o sistema de produção é caracterizado pela forma como os elementos são organizados e é formado por três elementos principais: o primeiro é a tecnologia a ser utilizada no processo, representadas pelas ferramentas e máquinas que serão utilizadas no processo; o segundo refere-se à disposição física do sistema de produção, representada através do layout que mostra a localização das máquinas e trabalhadores; o terceiro trata-se das ferramentas de gestão da produção empregadas na análise e controle do sistema (ELSAYED; BOUCHER, 1994).

Meredith e Shafer (2002) definem como os principais elementos de um sistema de produção: o ambiente no qual está inserido, os insumos que serão utilizados, os sistemas de transformação, os produtos, bem como os mecanismos usados para controlar e monitorar o sistema. Na Figura 4 encontra-se a proposta de representação do sistema de produção segundo Meredith e Shafer (2002).

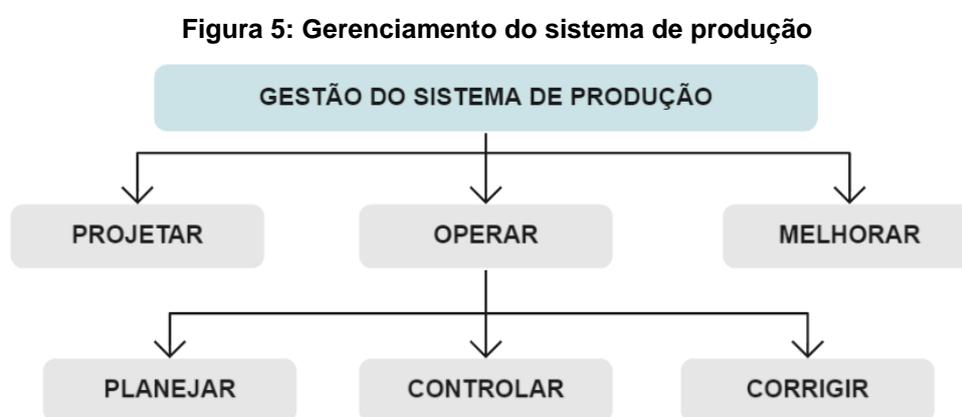
Figura 4: Representação do sistema de produção



Fonte: Adaptado de Meredith e Shafer (2002)

Segundo Ballard e Howell (2003), a gestão do sistema de produção de empreendimentos pode ser dividida em três principais atividades: projetar, operar e melhorar o sistema, conforme disposto na Figura 5.

A ação de operar envolve o planejamento o controle e a correção. Planejar significa definir as metas do sistema, controlar refere-se ao avanço em direção aos objetivos definidos, e corrigir é alterar o meio que está sendo utilizado ou mudar os objetivos que estão sendo almeçados (BALLARD; HOWELL, 2003). Portanto, segundo os mesmos autores, os sistemas de produção são projetados visando três objetivos: entregar o produto, maximizar valor e minimizar desperdício.



Fonte: Adaptado de Ballard e Howell (2003)

2.5 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Existem várias definições de planejamento na literatura, mas todas elas enxergam o planejamento como um processo de antecipação de um futuro almejado.

O planejamento pode ser definido como um processo gerencial de tomada de decisão, que engloba a definição de metas e a determinação de meios para atingi-las, sendo efetivo quando acompanhado do controle (FORMOSO, 1991).

Para Ballard e Howell (2003), o planejamento é o elo entre o controle da produção e a estruturação do trabalho e sem o planejamento, não é possível garantir que o trabalho proposto seja executado para atingir os objetivos do empreendimento.

Além disso, de acordo Ballard (2000), o planejamento apresenta metas e a sequência de processos necessários para atingi-las. Por outro lado, o processo de controle leva a obtenção da sequência desejada, o replanejamento ocorre quando a sequência definida não é mais desejada, ou quando não é possível de realizar, e o

aprendizado acontece quando as ações não estão cumprindo o plano (BALLARD, 2000).

O processo de planejamento deve ser estruturado buscando atender à hierarquia das decisões estratégicas e táticas e empregado com a manipulação de dados e produção de informações, para que se possa avaliar o impacto de estratégias de produção que é refletido no resultado do produto final bem como na empresa de forma global (MORAES, 2007).

Portanto, a partir das informações fornecidas, são adotadas as estratégias que melhor se enquadrem aos recursos disponíveis para a execução do empreendimento. O processo de planejamento permite que a empresa consolide informações de várias obras, permitindo a realização da avaliação do volume de produção da empresa, assim como as políticas que podem ser criadas para ajustar o volume a capacidade de produção da empresa (MORAIS, 2007).

Segundo Moraes (2007), o processo de elaboração do planejamento é composto pelas seguintes etapas:

- Programação e implantação do cronograma físico;
- Investigação preliminar;
- Definição do nível de detalhamento;
- Identificação de etapas, atividades e serviços;
- Definição dos processos de trabalho;
- Alocação e nivelamento dos recursos;
- Definição da sequência tecnológica;
- Definição das durações e das precedências;
- Definição do cronograma físico de serviços;
- Simulações com variações de sequência e de ritmo dos serviços;
- Indicadores de desempenho;
- Critérios para ponderação;
- Cálculo dos indicadores;
- Desenvolvimento da curva de evolução física da obra - curva "s";
- Desenvolvimento da agenda de contratação de serviços e de materiais;
- Processo de controle e consolidação de dados referente a diversas obras de uma mesma empresa.

Como foi visto, o planejamento geralmente é realizado por meio do desenvolvimento de uma sequência de etapas, nas quais são utilizadas ferramentas de planejamento, redes de precedência e divisão das tarefas, além disso, nas etapas de planejamento os serviços são considerados interligados em todos os pavimentos ou partes da obra, buscando sempre a padronização dos serviços (OLIVEIRA, 2010).

Vale ressaltar que as simulações possibilitam a elaboração de um plano mais confiável para atingir as metas. Além disso, ressalta-se a importância do controle na correção dos problemas, através de um ciclo de retroalimentação, no qual as informações chegam aos tomadores de decisão (OLIVEIRA, 2010).

Por outro lado, o estudo do processo de planejamento e controle da produção realizado por Formoso *et al.* (1999) descrevem as principais dificuldades que contribuem para a falta de planejamento nas construtoras:

- a) A falta de visão de processo: O PCP é geralmente visto como um trabalho isolado de um setor da empresa ou como a aplicação de ferramentas de obtenção de planos. No entanto, o PCP consiste num processo gerencial, de forma que a interpretação errônea acarreta planos que necessitam de informações seguras e procedimentos que possibilitem a disseminação das informações geradas para os usuários dentro de um fluxo e tempo adequado.
- b) A negligência a incerteza: A incerteza é um fator inerente ao processo de produção devido as peculiaridades que este possui. Mas, muitas pessoas têm a ideia equivocada de que é possível eliminar a incerteza do planejamento por meio de estudos extremamente detalhados ainda nas primeiras etapas do projeto, o que pode gerar um esforço exaustivo o qual poderia ser convertido em investimentos nos horizontes de médio e curto prazo.
- c) A informalidade do plano: Geralmente ocorre a falta de um planejamento operacional formal que seja vinculado aos demais níveis de planejamento. Os planos táticos detalhados possuem uma tendência de se desatualizar rapidamente, em frente a isso, a produção da construção, frequentemente é norteadada por um plano elaborado de forma informal pelo mestre de obra ou engenheiro de campo.

- d) O pequeno impacto dos computadores: A utilização de computadores comumente apresenta pequeno impacto na eficiência do processo de planejamento, pois constantemente os sistemas computacionais são utilizados para não formalizar os processos que são ineficientes. Além do mais, o uso dessas ferramentas não é feito de forma de modo a permitir a integração e a troca de informações.
- e) A necessidade de mudanças comportamentais: O processo de melhoria do PCP não consiste apenas em uma mudança técnica, mas, é também uma mudança cultural que contém aspectos comportamentais onde é necessário que haja envolvimento dos participantes do processo de produção na etapa de planejamento. As principais barreiras para essa participação são a falta de entendimento da importância do planejamento para contrapor a tomada de decisões rápidas com base unicamente na intuição; bem como a necessidade de se fazer um trabalho em equipe permitindo a participação dos muitos profissionais envolvidos no projeto, e a gestão de todo o trabalho.

Laufer e Tucker (1987) falam que o planejamento e controle da produção pode ser descrito em duas dimensões, a horizontal e vertical, as quais serão descritas a seguir.

2.5.1 Dimensão horizontal do planejamento

Laufer e Tucker (1987) classificam o dimensionamento horizontal do planejamento como sendo as fases do processo de PCP em cada nível hierárquico, nos quais são definidos os procedimentos relacionados ao grau de detalhamento e controle de cada plano e a frequência em que deve acontecer o replanejamento.

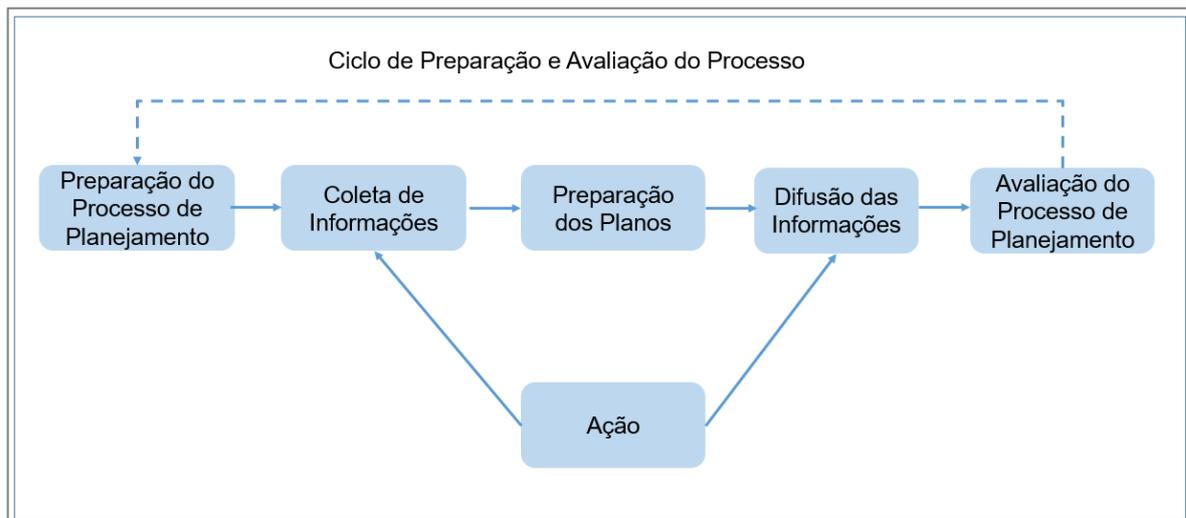
O planejamento é cíclico e pode ser repartido em cinco importantes etapas principais (LAUFER; TUCKER, 1987):

- a) Preparação do planejamento: etapa na qual são definidos os procedimentos e padrões que serão seguidos e utilizados no processo de planejamento.
- b) Coleta de informações: nessa etapa pretende-se elaborar um sistema de informações que permita a integração de todos os setores que interferem no planejamento e se define as responsabilidades de cada um.

- c) Elaboração dos planos: nessa fase é construído o plano de obra e podem ser usadas inúmeras ferramentas simultaneamente.
- d) Difusão das informações: para cada agente que fará uso das informações, devem ser definidas a natureza da informação, sua periodicidade, o formato que deve ser exposto, bem como o processo de retroalimentação.
- e) Avaliação do processo de planejamento: nessa etapa é fundamental o uso de indicadores relacionados a produção e ao processo de planejamento de modo a permitir a melhoria do processo através da avaliação dos indicadores.

A Figura 6 apresenta o ciclo de preparação e avaliação do processo do planejamento e controle da produção.

Figura 6: Ciclo de preparação e avaliação do processo de PCP



Fonte: Adaptado de Laufer e Tucker (1987)

2.5.2 Dimensionamento vertical do planejamento

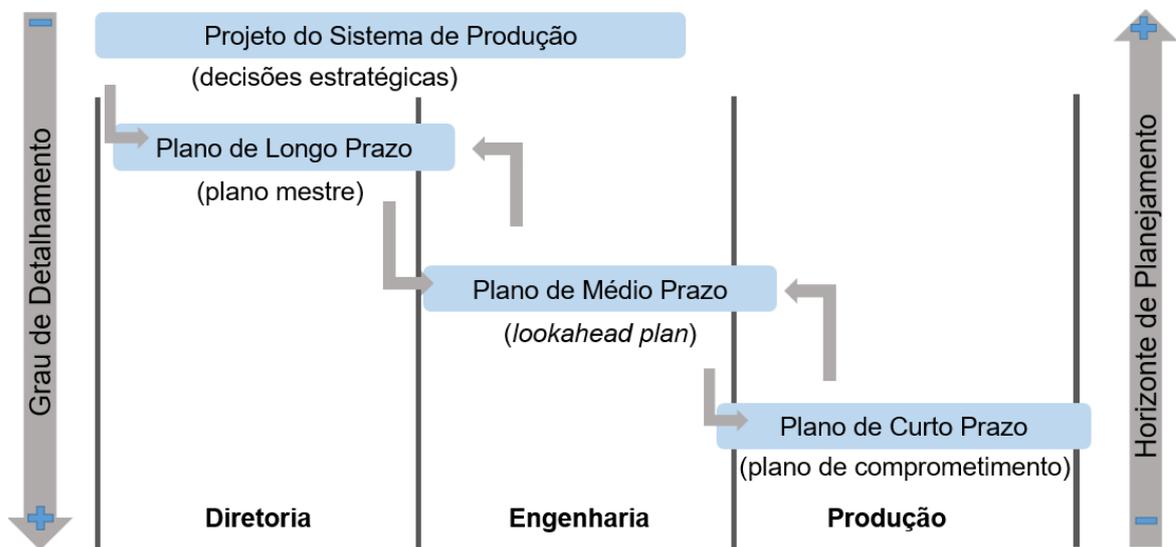
De acordo com Laufer e Tucker (1987), o dimensionamento vertical do planejamento trata-se da interligação dos horizontes de planejamento com os níveis verticais de planejamento da organização, que são: estratégico, tático e operacional. De tal modo, as atividades gerenciais da organização se associam com os horizontes de planejamento para alcançar os objetivos da empresa. A nível estratégico, acontecem as definições estratégicas relacionadas as metas do projeto de forma global; no nível tático são definidos os recursos a serem utilizados a médio prazo e a nível operacional está o curto prazo, onde acontecem as decisões e as escolhas das

soluções para apoiar o nível tático e alcançar os objetivos do projeto (LAUFER; TUCKER, 1987).

Pode ser necessária a subdivisão dos níveis hierárquicos e estes requerem alguns detalhamentos específicos de modo a não haver informações em excesso, o que dificulta a compreensão, assim como a ausência de detalhamento pode o tornar inútil (FORMOSO, 2001).

O dimensionamento vertical do planejamento e controle da produção pode ser visto na Figura 7.

Figura 7: Dimensões verticais do planejamento e controle da produção



Fonte: Adaptado de Biotto (2020)

Existem alguns métodos e ferramentas de planejamento que podem ser utilizados no gerenciamento de obras, como por exemplo o Sistema *Last Planner* (SLP) de Planejamento e Controle da Produção, e o planejamento baseado na localização, sobre os quais serão comentados a seguir.

2.6 SISTEMA LAST PLANNER¹ DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Sistema *Last Planner* (SLP) é considerado um método que busca planejar e controlar a produção nos canteiros de obra (KOSKENVESA; KOSKELA, 2005). O método foi criado por Ballard e Howell (1994) para planejar a produção, de modo a alcançar as metas de prazos por meio da conclusão de tarefas. O SLP consiste em uma ferramenta para transformar o que deveria ser feito em o que pode ser feito, criando pacotes de trabalhos prontos, pelos quais os planos de trabalhos podem ser definidos (BALLARD, 2000). Esse método é fortemente baseado em conceitos e princípios associados à produção enxuta (WOMACK; JONES; ROSS, 2004).

O termo *Last Planner* que quer dizer “último planejador” enaltece importância dos responsáveis pela execução das atividades operacionais do planejamento (BALLARD; HOWELL, 1994). Por isso, o foco desse método compreende o controle global do empreendimento para o cumprimento de metas fixadas em contrato, mas também se atenta para as unidades de produção, em busca de aumentar a qualidade dos planos gerados e propor ações corretivas para os problemas identificados (BALLARD; HOWELL, 1994).

O SLP foi desenvolvido inicialmente com o propósito de aumentar a confiabilidade do planejamento de curto prazo por meio da implantação de uma filosofia, procedimentos e uma série de ferramentas que tem o objetivo de melhorar a gestão do fluxo de trabalho para reduzir os desperdícios, as esperas, o tempo gasto em inspeções, movimentações e retrabalhos (SOARES, 2003).

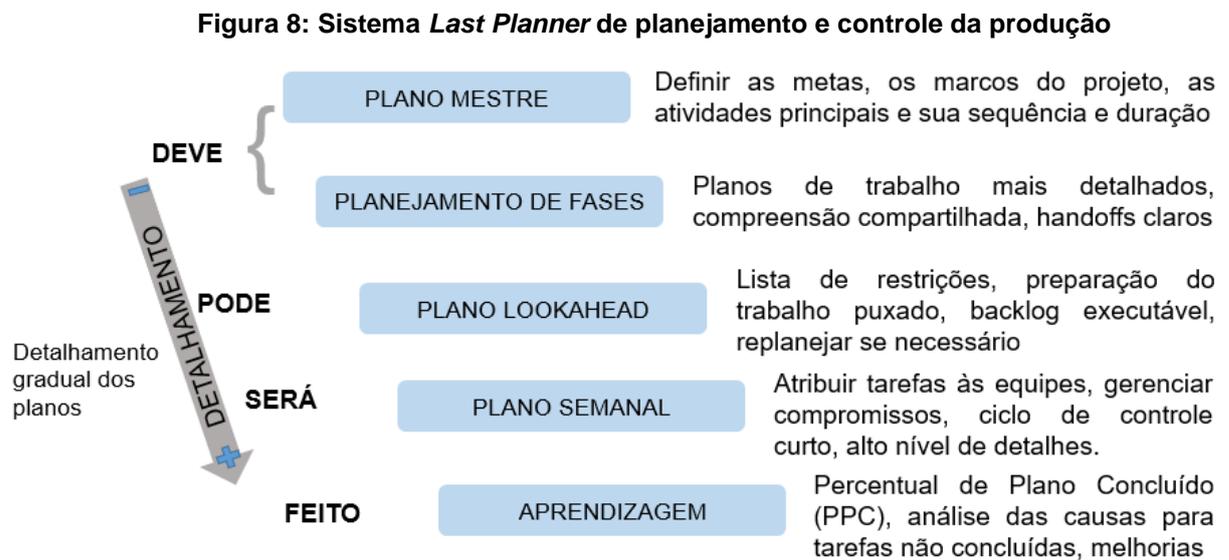
O SLP se diferencia dos sistemas tradicionais pelo detalhamento das metas no decorrer dos níveis hierárquicos. O detalhamento das metas estabelecidas nos níveis do planejamento tende a aumentar quando a data de execução da tarefa se aproxima (RECK, 2010).

Assim, o *Last Planner* prevê procedimentos e ferramentas para diminuir variabilidade e incerteza na construção, no qual inicia-se do que “DEVE” ser feito (conforme programação), para decidir o que “PODE” ser feito (verificando restrições) considerando que nem tudo o que deve ser feito, pode ser realizado, devido às

¹ *Last Planner System* é uma *trademark* (TM) do *Lean Construction Institute*. Trata-se de um sistema de planejamento e controle que visa melhorar o cumprimento das atividades planejadas e a correta utilização de recursos durante a execução do projeto.

limitações de recursos e coordenação. No momento em que as atividades podem ser iniciadas, considerando os pré-requisitos, é definido o que “SERÁ” feito (BALLARD; HOWELL, 1996).

A Figura 8 apresenta a evolução dos níveis hierárquicos do planejamento entre o que deve, pode e será feito.



Fonte: Adaptado de Ballard e Tommelein, (2016)

A seguir serão apresentados os níveis hierárquicos do planejamento segundo o SLP.

2.6.1.1 *Planejamento de longo prazo (deve)*

O planejamento de longo prazo (cronograma mestre) deve apresentar um baixo grau de detalhes, devido à incerteza existente no ambiente produtivo. São definidos o escopo e as metas a serem atingidas pelo empreendimento considerando fatores como qualidade, custo e tempo, e apresenta as diretrizes da estratégia adotada pela empresa (LAUFER; TUCKER, 1987).

2.6.1.2 *Planejamento fases (deve)*

A ferramenta de planejamento de fases tem como base o cronograma mestre e é usada para elaborar um plano de trabalho detalhado, no qual se especifica as transferências entre os participantes envolvidos na respectiva fase (BALLARD;

HOWELL, 2003). De acordo com os mesmos autores, as transferências se tornam metas a serem alcançadas por meio do controle da produção, de forma que, as programações fornecem as metas para as quais o *Last Planner* se orienta, podendo ser replanejando quando necessário. Em resumo, o cronograma de fases busca realizar cada transferência entre especialistas especificados no cronograma de projeto mais detalhado (BALLARD; HOWELL, 2003).

Nesse contexto, a ferramenta *Pull* se refere ao planejamento puxado, baseado na produção puxada. Trata-se de um cronograma elaborado a partir do planejamento de longo prazo e que utiliza a ferramenta “puxar” que trabalha com base em uma data de conclusão de destino (marco) para trás, esse método permite que as tarefas sejam propostas e sequenciadas para que seu plano de conclusão seja realizado (PORWAL *et al.*, 2010).

O *Pull Planning* é uma atividade de projeto que é colaborativa e procura estruturar as etapas de uma fase do projeto de modo a produzir um plano para completá-lo (BALLARD, 2008). Nessa perspectiva, o *Pull Planning* tem o objetivo de maximizar a geração de valor entre as partes envolvidas e o cliente através de um processo colaborativo e transparente para tomada de decisão, no qual os participantes podem usar cartões (*post-its*, entre outras formas) em uma parede ou em uma mídia digital, para planejar as atividades visando a conclusão do serviço no prazo estabelecido (BALLARD, 2008).

Portanto, no *Pull Planning*, o planejamento é feito de forma colaborativa entre quem executa a tarefa e a equipe responsável pelo planejamento da obra. Procura-se, com isso, garantir que seja proposta a melhor programação possível para as equipes, além de proporcionar transparência ao processo através do emprego de ferramentas visuais (BONI, 2014).

O princípio *lean* que está associado com *Pull Planning* é o relacionado a identificação do fluxo de valor. Quando os marcos (valor para o cliente) são definidos, consegue-se trabalhar no sequenciamento das tarefas de modo a atingir aquele objetivo (entregar o marco), buscando o fluxo necessário para entregar o produto ao cliente (COSTA, 2017).

A Figura 9 apresenta um exemplo de ferramenta visual que pode ser empregada no *Pull Planning*.

Figura 9: Planejamento feito no *Pull Planning*

Fonte: Acervo da obra em estudo

2.6.1.3 Planejamento de médio prazo (pode)

O planejamento de médio prazo interliga o planejamento de longo prazo com o de curto prazo. O plano de médio prazo possui um horizonte de tempo móvel, uma visão antecipada de algumas semanas futuras, e é também chamado de *lookahead* (FORMOSO *et al.*, 1999). Segundo Ballard e Howell (1994), a periodicidade neste nível de planejamento geralmente corresponde entre três e doze semanas.

O Planejamento de médio prazo possui as seguintes funções: análise das restrições; definição dos recursos físicos (mão de obra, material e equipamentos); dimensionamento de carga e capacidade de trabalho; transformação do planejamento de longo prazo em pacotes de trabalho e operações e detalhamento do método de execução do serviço (BALLARD, 2000). Desse modo, o controle pode ser feito com base no indicador de desempenho: Índice de Remoção de Restrições (IRR).

2.6.1.4 *Planejamento de curto prazo (será)*

Normalmente o planejamento de curto prazo possui um período semanal. No curto prazo são postas somente as tarefas que podem ser totalmente realizadas, as que os materiais necessários estejam disponíveis e todos os pré-requisitos estejam resolvidos (BALLARD; HOWELL, 1996). Esse nível de planejamento tem foco no envolvimento das equipes de trabalho com as metas bem definidas, e é chamado de planejamento de comprometimento (BALLARD, 2000).

O Percentual de Pacotes Concluídos (PPC) e a frequência das causas de não cumprimento dos prazos são dois indicadores importantes do planejamento de curto prazo (BALLARD, 2000). A obtenção do PPC se dá a partir da divisão da quantidade de tarefas realizadas pela quantidade de tarefas programadas (BALLARD, 2000). O processo de identificação das causas raízes de não cumprimento dos pacotes de trabalho se dá por meio da descoberta dos motivos que levaram à não execução dessas tarefas (BORTOLINI, 2015).

2.6.1.5 *Aprendizagem (feito)*

No processo de busca da melhoria do sistema de planejamento, a investigação da causa raiz do não cumprimento das atividades através da ferramenta dos “cinco porquês” é fundamental (SOUZA, 2021).

Segundo Reck (2010), a identificação e análise das causas de não cumprimento das atividades servem de dados para a inserção de ações corretivas no processo da gestão da produção. A prática da aprendizagem contribui para a obtenção de PPC mais alto e planos mais confiáveis. Além disso, o mapeamento das causas de não cumprimento das tarefas planejadas são dados que podem embasar o processo de melhoria do desempenho do projeto (RECK, 2010).

2.6.1.6 *Planejamento diário ou check-in e check-out*

Estudos na área de planejamento e controle da produção passaram a indicar que a somente estrutura tradicional do planejamento (longo, médio e curto prazo) não era suficiente para assegurar a aderência entre as tarefas planejadas e executadas, pois, eram raras as vezes em que o PPC atingia um percentual de 100%. Nesse

sentido, o *check-in* e *check-out* foi inserido nas rotinas de planejamento com o objetivo de inserir melhorias ao sistema original (SOUZA, 2021).

As reuniões de *check-in* e *check-out* acontecem diariamente entre o coordenador do setor da produção e os encarregados responsáveis pelas equipes de produção, e tem o objetivo de checar a meta do dia e remover as restrições que venham a comprometer o cumprimento da meta semanal, além disso, é recomendado que a reunião dure no máximo 20 minutos (CLIMB CONSULTING, 2020).

As reuniões diárias costumemente acontecem no espaço próximo à frente de trabalho, no início e no fim do dia de trabalho, tendo como norte a programação semanal, por meio da qual é possível avaliar a transparência e confiabilidade dos compromissos assumidos pelos envolvidos (COSTA, 2017). Segundo Costa (2017), nas reuniões diárias, geralmente são feitas algumas perguntas, como por exemplo:

- a) Como a equipe está indo?
- b) As atividades estão atrasadas ou adiantadas? quais ações precisam acontecer, ou o que deve ser mantido para que a atividade seja concluída?
- c) Existem desvios que necessitam de tratativas? Se sim, quais os motivos?

2.6.2 Indicadores da gestão da produção

Quando uma empresa adota princípios da construção enxuta, ela precisa estruturar o seu sistema de medição de indicadores de desempenho.

No processo de gestão da produção na construção, existem inúmeros indicadores, os quais são empregados por empresas para na fase de controle do planejamento (OLIVEIRA, 2010). Os indicadores provenientes do Sistema *Last Planner* são: Percentual do Planejamento Concluído, Causas da não conclusão dos pacotes de trabalho (execução, projeto, liberação, suprimento, planejamento, chuva, absenteísmo, financeiro, entre outros) e Índice de Remoção de Restrição.

A seguir, os indicadores oriundos do Sistema *Last Planner* serão apresentados.

2.6.2.1 Índice de Remoção das Restrições (IRR)

O objetivo do indicador IRR é verificar o grau de remoção de restrições, como por exemplo: equipamentos; aquisição de materiais; definição de projeto; mão de obra, entre outros. A tarefa de verificação do IRR, normalmente, é executada pelos

gerentes da obra e o indicador é discutido no planejamento de médio prazo (OLIVEIRA, 2010).

No caso do IRR, é necessário que a empresa crie procedimentos que possibilitem a implantação do indicador, tais como: listas de restrições, a relação de fatores que contribuem para essas restrições, um plano de remoção das restrições, a indicação do responsável, a implementação e reavaliação (LORENZON, 2008).

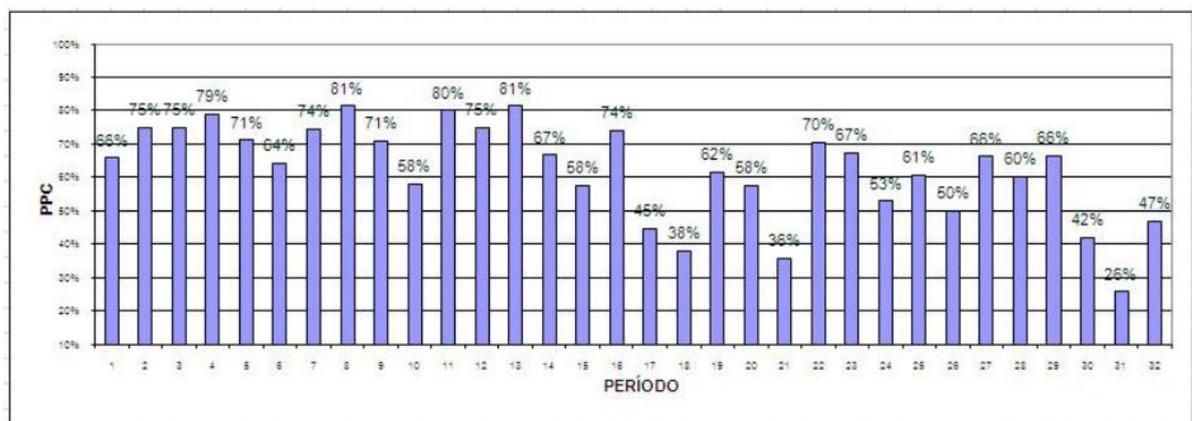
2.6.2.2 Percentual de Planejamento Concluído (PPC)

De acordo com Ballard e Howell (1996), o PPC é o indicador imediato do sistema *Last Planner*, pois indica a eficácia deste do planejamento em atingir as metas de execução das tarefas previstas. O indicador PPC é o resultado do número de atividades programadas completadas, dividido pelo número total de atividades programadas, e é expresso em porcentagem. Desse modo, um plano semanal de qualidade irá resultar em PPC com valor alto, e há uma tendência de redução dos imprevistos e da variabilidade na produção, de modo a aumentar a confiabilidade do planejamento.

A coleta do PPC é realizada ao final de cada período do planejamento de comprometimento, e por meio desse indicador pode-se identificar as tarefas previstas na programação que foram concluídas e as que não foram executadas, facilitando o processo de reprogramação do planejamento (OLIVEIRA, 2010).

A Figura 10 mostra um exemplo da coleta do indicador PPC em uma obra.

Figura 10: Registros do PPC de uma obra



Fonte: Oliveira (2010)

2.6.2.3 Causas da não conclusão dos pacotes de trabalho

As causas da não conclusão dos pacotes de trabalho deve ser descritas evidenciando a raiz dos problemas para melhoria do desempenho a partir de sua solução (BALLARD, 2000). A utilização do PPC e do registro das causas da não conclusão dos pacotes de trabalho, possibilita verificar se os problemas ocorridos estão associados à qualidade dos planos ou se estão associados a fatores externos ao planejamento, como por exemplo a ocorrência de chuvas (BALLARD, 2000).

Geralmente os problemas internos estão relacionados à falha na definição dos planos, e os externos, podem ser, por exemplo, devido às condições adversas do tempo. No decorrer da evolução do planejamento, as causas com origem interna ao processo tendem a diminuir por causa do aumento da qualidade dos planos desenvolvidos com base no aprendizado e pela atuação junto às causas raiz (BALLARD, 2000).

2.7 PLANEJAMENTO BASEADO NA LOCALIZAÇÃO

O Planejamento baseado na localização (PBL) é um sistema de planejamento e controle da produção que tem origem na Linha de Balanço (LDB) e possui a função de representar graficamente o andamento das atividades repetitivas em função do tempo (HARRIS; IOANNOU, 1998).

As ferramentas baseadas na localização são visuais e informam aspectos do fluxo de trabalho, tempos de ciclo, prazos de entrega, tempo *takt* (ritmo de produção necessário para atendimento da demanda) e tamanho dos lotes, contribuindo para identificação da interdependência das operações com o sistema de produção (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2013).

Nesse sentido, a LDB é uma ferramenta baseada na localização e trata-se de um diagrama que representa as unidades-base no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal (BIOTTO *et al.*, 2017). A LDB é baseada em redes de atividades, as linhas de tarefas representam uma atividade que percorrem entre as unidades-base com o objetivo de entregar as unidades concluídas (YASSINE *et al.*, 2014).

A LDB pode indicar o sequenciamento das tarefas pelas unidades de repetição da obra, as quais podem ser os pavimentos, os apartamentos, as casas, os quilômetros de estradas, os metros de canalização, entre outros (VARGAS, 2009).

A LDB possibilita a obtenção de um fluxo de trabalho contínuo e ininterrupto para as equipes nas unidades de localização, e pode ser empregada no planejamento de projetos que possui natureza repetitiva de modo a aproveitar a continuidade do trabalho, além disso, a LDB busca que todas as atividades sejam realizadas em uma única taxa de produção, ou seja, com uma programação paralela entre as tarefas (MENDEZ; HEINECK, 1998).

A LDB torna possível o acompanhamento do avanço das atividades de modo a identificar se há atraso na execução dos serviços, ou se o avanço das atividades está de acordo com o que foi planejado. Isso acontece através da comparação entre o realizado com o previsto por meio da LDB do planejamento original. Se a linha do realizado coincidir com a linha do previsto, a atividade está em dia; se a linha do realizado estiver abaixo da linha do previsto, a atividade está atrasada; e se a linha do realizado estiver acima da linha do previsto, a atividade está adiantada (MATTOS, 2010).

Segundo Mendes Junior (1997), é preferível realizar o balanceamento das atividades para que estas sigam os ritmos de produção previamente definidos. O balanceamento permite definir quantas unidades, pavimentos, trechos ou lotes, estarão concluídos num determinado tempo, possibilitando o estudo do reaproveitamento e programação de equipes para evitar interrupções de trabalho e melhorar a sua produtividade. Além do mais, balancear as atividades contribui para a minimização de estoques de produtos, e permite a implantação do trabalho em grupo ou cédulas de produção (MENDES JUNIOR, 1997).

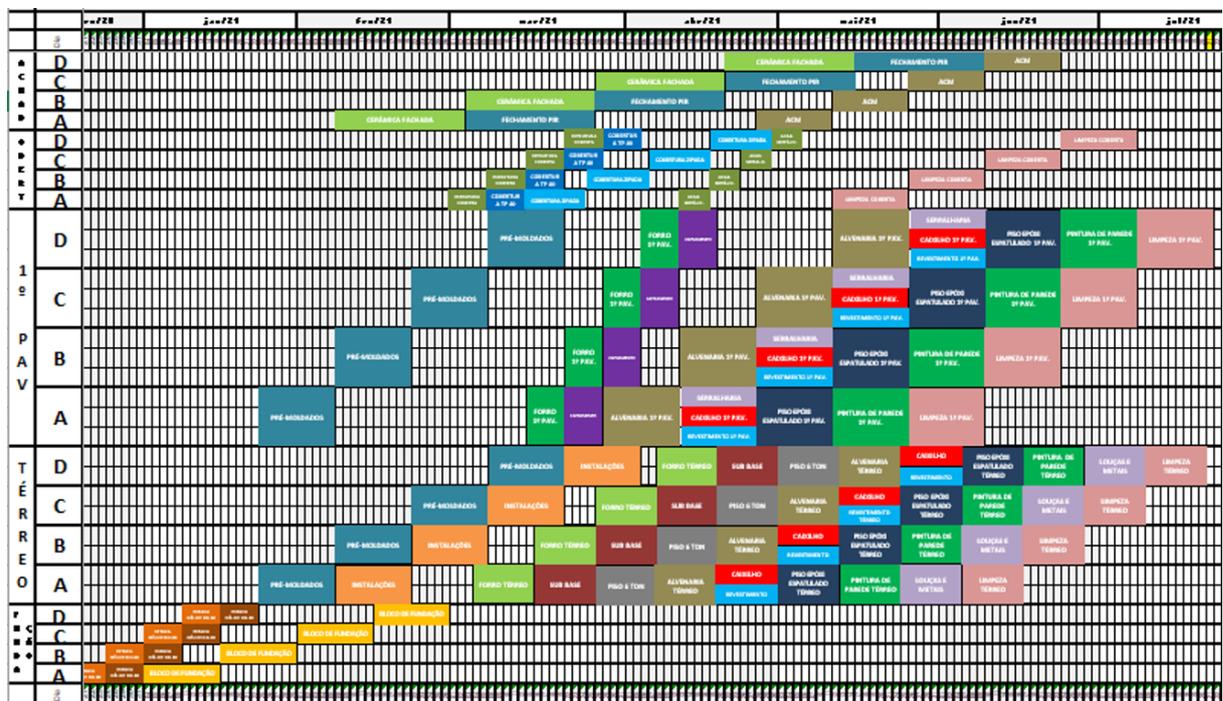
Ferramentas como a LDB evoluíram na construção, se tornando flexíveis para serem empregadas em estruturas de projetos dos mais diferentes níveis de incertezas. Devido às características próprias da ferramenta, a LDB é capaz de proteger o sistema de produção contra atrasos e variações no processo por meio do uso de *buffers* entre as atividades (BIOTTO *et al.*, 2017).

A utilização da LDB possibilita aos gestores uma forma clara de visualizar folgas, *buffers*, conflitos e intervalos entre as atividades; o que possibilita a colaboração dos envolvidos no processo de planejamento no sentido de apresentar sugestões de mudanças relacionadas ao aumento ou redução da duração dos

serviços, da quantidade de mão de obra, equipamentos, entre outros recursos (MARCHESINI, 2021) Segundo Seppanen, Ballard e Pesonen (2010), o SLP e o PBL são ferramentas que se complementam, enquanto o SLP tem foco no planejamento e controle da produção, o PBL procura estruturar a informação visando a melhoria do planejamento, a definição de indicadores, o monitoramento do avanço físico, bem como o estabelecimento de previsões. No entanto, ambos possuem objetivos *lean* de redução das perdas, aumento de produtividade e diminuição da variabilidade.

Um exemplo de linha de balanço pode ser visto na Figura 11.

Figura 11: Exemplo de linha de balanço



Fonte: Elaborado pela autora

2.7.1 Planejamento e controle de sistemas pré-fabricados

Muitos dos sistemas pré-fabricados possuem projetos industriais que contém muitas incertezas, solicitando assim, uma comunicação eficaz entre os envolvidos no processo construtivo, visando coordenar a sequência de montagem com as entregas dos materiais (TOMMELEIN; WEISSENBERGER, 1999).

Nesse contexto, existem falhas na comunicação entre o planejamento da produção e a fábrica de pré-moldados, sendo necessário que haja transparência para permitir o gerenciamento dos estoques de materiais no canteiro de obra (DAWOOD;

MARASINI, 2001). Além disso, normalmente, a taxa de produção dos elementos pré-fabricados das fábricas é consideravelmente mais alta do que a taxa de içamento desses elementos nas obras, por causa de incertezas existentes no processo de montagem no canteiro de obra, o que pode acarretar estoques ociosos (SACKS; AKINCI; ERGEN, 2003).

Como forma de eliminar os desperdícios associados aos estoques ociosos de elementos pré-fabricados no canteiro de obra, deve-se reduzir o *lead time* dos fornecedores e aumentar a confiança do fluxo de trabalho, fazendo com que os produtos e atividades sejam puxados para o canteiro sempre que necessário (BALLARD; ARBULU, 2004). Para tanto, Ballard e Arbulu (2004) recomendam a implementação do controle de produção do SLP, a diminuição do *lead time* dos fornecedores e o aperfeiçoamento das etapas de elaboração do projeto como estratégias para reduzir a variabilidade nas etapas de instalação de pré-fabricados no canteiro.

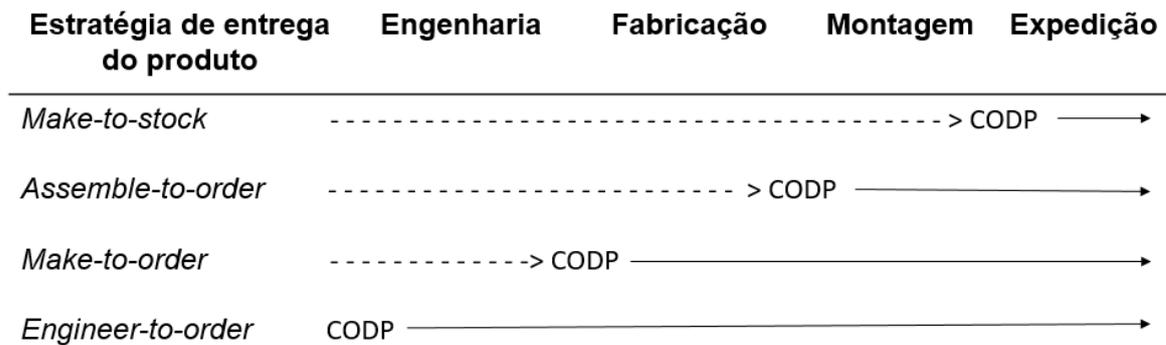
No contexto dos sistemas pré-fabricados, existem empresas que fornecem produtos personalizados em busca de atender as necessidades individuais de seus clientes, são as chamadas empresas *Engineer-to-Order* (ETO). As empresas ETO projetam, fabricam e montam componentes pré-fabricados de acordo com a demanda de projeto específica dos clientes. Desse modo, as peças são produzidas em fábricas, a pré-montagem e montagem final são realizadas no canteiro de obra, e geralmente, o processo de manufatura dos componentes nas fábricas de empresas ETO é desconectado da montagem nos canteiros de obra (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014).

De acordo com Olhager (2010), a classificação dos sistemas de produção está baseada no ponto de desacoplamento do pedido feito pelo cliente (*Customer Order Decoupling Point* - CODP), o qual representa o ponto no fluxo do material em que o produto é vinculado ao pedido de um cliente. Tal ponto tem uma importância relevante, pois possibilita a inserção de pontos de estoque que funcionam como estoques estratégicos em períodos de variabilidade da demanda suprindo a pedidos incertos (GOSLING; NAIM, 2009).

No estudo de Olhager (2003), além dos sistemas ETO, esse autor relaciona outras três estratégias de entrega do produto com os posicionamentos do CODP, são elas: *Make-to-Stock* (MTS); *Assemble-to-Order* (ATO) e *Make-to-Order* (MTO), conforme a Figura 12. De acordo com a Figura 12, as linhas tracejadas representam

as atividades que são realizadas de acordo com a previsão da demanda, já as linhas contínuas representam as atividades executadas a partir do pedido do cliente, ou seja, o CODP (OLHAGER, 2003).

Figura 12: Esquema de localização do CODP



Fonte: Adaptado de Olhager (2003)

O estudo realizado por Viana (2015) propôs um modelo integrado de planejamento e controle de sistemas de construção pré-fabricados do tipo ETO que apresenta um conjunto de processos de planejamento e controle conectados de modo a promover a integração entre os processos da fábrica e da obra. Em seu estudo, Viana (2015) utilizou o SLP para elaborar um modelo com foco em empresas ETO.

Os principais processos do modelo de planejamento integrado apresentados por Viana (2015) foram divididos em dois níveis, os quais serão descritos a seguir:

- Nível de controle do fluxo de projetos

O processo mais importante de controle do fluxo de projetos é o *lookahead* integrado, pois possibilita a reavaliação dos dados do cronograma mestre, para criar estratégias que atinjam as datas importantes e atrasem os projetos sem demandas no canteiro. Nesse processo, os responsáveis pelo planejamento podem realizar reuniões de “priorização” para que sejam coletadas informações de curto prazo dos departamentos de projeto, fábrica e logística para que as metas mensais sejam desenvolvidas.

Nessa perspectiva, um conjunto de medidas de desempenho foi sugerido no modelo para o controle de fluxo do projeto, tais como:

- a) Cumprimento da meta mensal: este indicador pode ser medido pelo volume de trabalho executado em relação à meta planejada.

- b) Aderência à sequência de lote antecipada: pode ser medida pela porcentagem de lotes incluídos no plano antecipado e que foram produzidos.
- c) Controle de desvio do *lead time*: esta medida deve ser feita com base no *lead time* real previsto no projeto menos o *lead time* planejado dividido pelo *lead time* planejado.
- d) Eficácia do processo de confirmação: pode ser medida indiretamente pela quantidade de material em estoque no pátio da fábrica.

- **Nível de unidade de produção**

No nível da unidade de produção, a quantidade de trabalho deve ser combinada com a capacidade disponível. Nesse nível é importante se utilizar o Sistema *Last Planner* para o desenvolvimento de planos confiáveis e para promover a conscientização das unidades de produção a respeito de sua capacidade real. Por meio do planejamento de cada unidade de produção, é possível se obter informações sobre o controle do fluxo de projeto, permitindo o desenvolvimento de planos confiáveis.

Na unidade de produção se decide o que deve ser produzido, porém essa decisão precisa ser orientada pelo processo do *lookahead* integrado. Entretanto, a fábrica não se beneficia com estoque de peças no seu pátio, o objetivo da fábrica deve ser entregar os elementos aos canteiros de obras, garantindo que os produtos fabricados sejam os esperados. Desse modo é importante um plano unificado.

Portanto, considera-se que a fabricação só está pronta quando as peças são entregues no canteiro. Dessa forma, a fábrica se torna responsável pelo estoque no canteiro, e há um incentivo para a não produção de elementos que não poderão ser encaminhados à obra. Além disso, o controle é realizado com base na fase pronta para ser entregue, enfatizando a necessidade de se produzir um lote completo que possa ser enviado e considerado feito, evitando a falta de responsabilidade da fábrica com eventuais estoques. Desse modo, é importante que a fábrica trabalhe com os níveis hierárquicos principais do planejamento, o médio prazo e o curto prazo.

O departamento de projeto e engenharia da obra precisa realizar o controle integrado, analisando os planos de trabalho, os atrasos das equipes,

as restrições e o comprometimento com os lotes sem restrições. Os níveis hierárquicos de planejamento principais devem ser o médio prazo, onde são analisados os planos que podem ser executados, e o curto prazo em que se realizam o encontro para discussão dos planos menores. A realização de uma previsão antecipada a médio prazo, facilita o planejamento de curto prazo. Com relação a montagem no canteiro, o processo de monitoramento deve ser integrado para que os demais níveis fiquem cientes do estado do canteiro.

A avaliação das práticas de planejamento sugeridas pode ser feita a partir da análise dos seguintes fatores:

- a) Quantidade total de lotes produzidos no período da semana;
- b) Quantidade total de lotes planejados;
- c) Aderência à sequência do lote.

Entretanto, o trabalho realizado por Viana (2015) tem o foco voltado para empresa do tipo ETO, desse modo, possui uma perspectiva diferente do estudo em questão, no qual se trata de processos de uma construtora gerenciadora.

O estudo realizado por Bortolini (2015), apresentou um modelo para o planejamento e controle logístico de obras em sistemas pré-fabricados do tipo ETO, com o uso de modelos virtuais elaborados com *Building Information Modelling* (BIM) integrados com o cronograma físico da obra, também denominado simplificada de BIM-4D. O principal objetivo do trabalho era apoiar o planejamento e controle logístico, de forma que foi proposto um conjunto de indicadores para controle da produção, com ênfase na gestão logística.

Dentre as métricas apresentadas no modelo de Bortolini (2015) destaca-se: o desenvolvimento de um modelo BIM-4D, definição da estratégia de ataque, elaboração de um plano logístico detalhado e exposição do plano logístico na obra por meio de dispositivos visuais. Destaca-se que no decorrer dos estudos exploratórios de Bortolini (2015) foram utilizadas a ferramenta da linha de balanço e o plano de arranjo físico ou *layout* do empreendimento, onde as etapas da obra eram representadas com cores diferentes e as peças que chegavam no canteiro eram etiquetadas com a mesma cor da etapa que pertencia.

Porém, o trabalho realizado por Bortolini (2015) possui o foco voltado para empresa do tipo ETO, e utiliza o modelo BIM-4D, e possui uma proposta diferente do estudo em desenvolvimento.

Outro estudo interessante foi o desenvolvido por Bulhões (2009) que apresentou diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de montagem de estrutura pré-fabricada, as quais foram divididas em cinco seções: diagnóstico inicial, planejamento integrado do projeto, fabricação e montagem, redução do lote, mudanças no processo de planejamento e controle da montagem, e implementação do fluxo contínuo no processo de projeto. Em seu estudo, Bulhões (2009) evidenciou a importância da utilização dos três níveis de planejamento (longo, médio e curto prazo) de forma participativa entre os integrantes da obra e da fábrica.

Diante dessas considerações, entende-se que o Sistema *Last Planner* é uma ferramenta fundamental para que o planejamento de obras de sistemas pré-fabricados apresente resultados positivos. Além, disso, é fundamental que o planejamento seja aplicado e controlado nos diferentes departamentos que participam do processo produtivo. Por outro lado, o estudo em questão pretende analisar e explorar o nível de *Phases* do planejamento (utilizando o *Pull Planning*) em conjunto com a ferramenta de linha de balanço a nível de longo prazo e o nível de médio prazo com as análises de restrições.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o de método de pesquisa utilizado para a realização deste trabalho, mostrando as etapas e a forma de coleta dos dados. O método de pesquisa foi definido a partir dos seguintes itens: estratégia de pesquisa, seguido pelo delineamento da pesquisa, no qual se descreve as fases que foram utilizadas no decorrer do trabalho.

3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Para análise do sistema produtivo do empreendimento foi empregada como estratégia de pesquisa o método do estudo de caso, o qual possui natureza empírica e é utilizado para investigar um fenômeno dentro de um contexto real, a partir de uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos), para permitir o seu vasto e detalhado conhecimento (GIL, 1996). Este estudo se concentrou na investigação de processos do planejamento da produção de um empreendimento de uma empresa que atua no mercado da construção civil.

No estudo de caso podem ser utilizados diferentes instrumentos de investigação, como análise de documentos, observações diretas a partir de visitas em campo, observações indiretas, registros de imagens, acompanhamento através de reuniões, entre outras fontes de evidências (YIN, 2001).

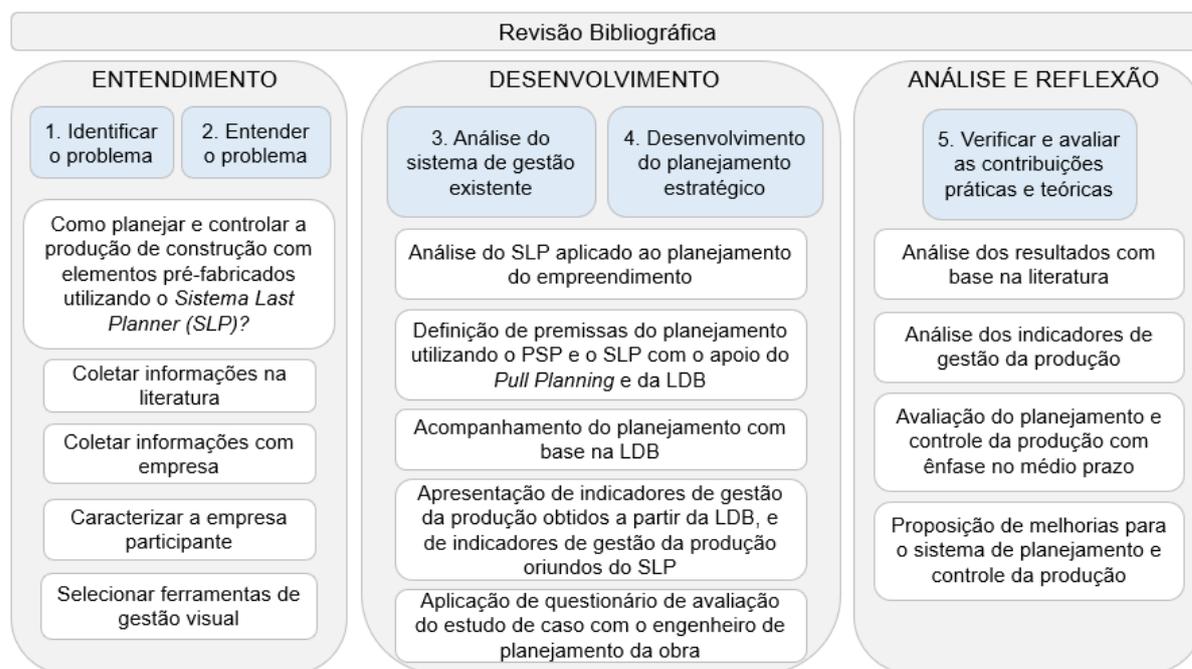
Devido à pandemia da COVID-19, neste estudo de caso não foi possível realizar as visitas em campo. Os documentos e fotos do empreendimento foram cedidos pela empresa parceira na pesquisa e enviados por meio de e-mail e o acompanhamento do sistema produtivo foi realizado através de reuniões com recursos de vídeo conferência.

O estudo de caso realizado tem caráter descritivo e qualitativo como também exploratório, uma vez que além de descrever e analisar os processos do planejamento observados, houve a participação da pesquisadora por meio da proposição de um estudo de planejamento estratégico realizado com o uso da ferramenta de planejamento LDB.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi composta por quatro fases: (a) revisão bibliográfica; (b) fase de entendimento; (c) fase de desenvolvimento e (d) análise e reflexão, conforme disposto na Figura 13.

Figura 13: Fluxograma das etapas de pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora

No decorrer da revisão bibliográfica, apresentou-se conteúdos sobre os aspectos relacionados ao tema em estudo, tais como: Conceitos da Construção Enxuta; Industrialização da Construção; Gestão do Sistema de Produção; Projeto do Sistema de Produção; Planejamento e Controle da Produção e Planejamento e Controle de Sistemas Pré-Fabricados.

A fase de entendimento envolveu uma revisão de literatura inicial buscando a compreensão de aspectos relacionados ao projeto do sistema de produção e ao planejamento e controle da produção de obras que utilizam sistemas pré-fabricados com o auxílio do Sistema *Last Planner*. Por meio de uma entrevista aberta feita com o diretor de operações da empresa o problema foi detalhado (conforme descrito no item 3.2.2.2). Dessa maneira, verificou-se que o problema tinha relevância prática e este passou a delimitar o problema de pesquisa dessa dissertação. A partir da caracterização da empresa, buscou-se o entendimento do modelo de gestão existente na obra, e com base nas informações encontradas na literatura, foi possível analisar

algumas alternativas que pudessem ajudar na estruturação e desenvolvimento do PSP para proporcionar melhorias ao planejamento que existia na obra. Nesse sentido, durante essa fase de entendimento foi feito o estudo de ferramentas de gestão visual para serem aplicadas na obra com o propósito de facilitar a comunicação entre os envolvidos.

A etapa de desenvolvimento abrangeu as ações práticas do estudo de caso bem como o acompanhamento do planejamento do empreendimento realizado pela pesquisadora. Nessa etapa do estudo, o sistema de gestão do empreendimento foi analisado e foram realizadas algumas simulações para obtenção da melhor sequência construtiva da obra e, a partir disso, foram recomendadas algumas melhorias para a prática de planejamento existente. Em seguida, foi apresentada uma proposta de PSP para o empreendimento juntamente com uma LDB para apoiar o planejamento e controle da produção. Nessa fase também foi feito o acompanhamento do planejamento da obra com base na LDB, o que resultou na apresentação de indicadores de gestão da produção. Para finalizar a fase de desenvolvimento do estudo, foi aplicado um questionário de avaliação do estudo de caso com o engenheiro de planejamento da obra.

A etapa de análise e reflexão abrangeu a análise e discussão dos resultados obtidos a partir do uso de ferramentas de gestão bem como a proposição de melhorias para o planejamento e controle da produção para empreendimentos de construção industrializada que utilizam o SLP.

3.2.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica visou mostrar o atual estado do conhecimento sobre o tema em estudo. Dessa forma, foi feita uma revisão de literatura utilizando-se como banco de dados para pesquisa a plataforma *Web of Science* (WoS) e a *Scopus*, devido ao amplo acervo de artigos periódicos nacionais e internacionais, e os depositórios das principais universidades do Brasil, as quais possuem pesquisas voltadas à gestão de obras.

A revisão bibliográfica aconteceu no decorrer de todo o estudo, buscando a compreensão sobre os principais assuntos relacionados ao tema em estudos, tais como: Conceitos da Construção Enxuta; Industrialização da Construção; Gestão do Sistema de Produção; Projeto do Sistema de Produção; Planejamento e Controle da

Produção; Sistema *Last Planner* de Planejamento e Controle da Produção e Planejamento e Controle de Sistemas Pré-Fabricados.

3.2.2 Fase de entendimento

A fase de entendimento envolveu as seguintes etapas: (a) a coleta de informação na literatura; (b); a coleta de informação com a empresa; (c) a caracterização da empresa; e (d) a seleção e estudo de ferramenta de gestão visual para ser aplicada no trabalho.

3.2.2.1 Coleta informações na literatura

Nessa fase foi feito um estudo em produções científicas que tratavam do planejamento e controle da produção de obras de sistemas pré-fabricados com foco nos conceitos da construção enxuta, de forma a identificar as ferramentas que poderiam ser utilizadas para apoiar o planejamento e controle da produção considerando o problema prático apresentado pela empresa participante desse estudo. Nessa perspectiva, esse estudo está fundamentado nos conceitos do Projeto do sistema de produção, no Sistema *Last Planner* e no planejamento do sistema de produção da obra.

3.2.2.2 Coleta de Informações com a empresa

Nessa etapa da pesquisa foi realizada uma conversa com os profissionais da empresa, os quais eram responsáveis pelo planejamento da obra em estudo. As reuniões foram realizadas no mês de novembro de 2020 por meio de vídeo conferência (devido às condições da pandemia da COVID-19 naquele momento) na qual participaram a equipe da obra (engenheiro de planejamento, gerente de contrato e o diretor de operações) e a equipe de pesquisadores (mestranda e orientadoras). O principal objetivo da reunião foi se obter uma compreensão detalhada da problemática que o projeto da obra apresentava e coletar informações sobre o modelo de gestão existente. As informações coletadas sobre as características do projeto da obra serão descritas nesse trabalho no item de descrição do empreendimento. Os documentos

importantes, como cronogramas e a proposta de sequenciamento das atividades, foram enviados à pesquisadora via e-mail. Esses documentos serão apresentados no capítulo 4 onde estarão descritos os resultados obtidos.

Após uma análise dos documentos existentes no modelo de gestão da obra e com base em uma busca na literatura, a pesquisadora elaborou uma proposta de estudo contendo ferramentas de gestão que pudessem ser aplicadas ao gerenciamento do empreendimento.

Para se obter um entendimento sobre o planejamento da fábrica, no âmbito da entrega e montagem dos elementos, a pesquisadora participou de uma reunião com um representante da fábrica e a equipe da obra. Nessa reunião o engenheiro da fábrica apresentou o cronograma e o plano logístico elaborados pela fábrica para execução da etapa de estrutura do empreendimento. Os documentos apresentados pela fábrica serão apresentados no capítulo 4.

O Quadro 1 apresenta os detalhes sobre as primeiras reuniões realizadas com a equipe da obra e da fábrica para coleta de informações.

Quadro 1: Reuniões para coleta de informações

Data da reunião	Duração	Participantes	Assunto tratado na reunião
16/11/2020	1h:30min	Diretor de operações da empresa; Engenheiro de planejamento da obra; Gerente de contrato da obra; Profa Orientadora; Profa Coorientadora e a mestranda	Nessa reunião a empresa apresentou as características no empreendimento, os problemas associados ao projeto do empreendimento e o modelo de gestão existente na obra.
25/11/2020	1h:30min	Diretor de operações da empresa; Engenheiro de planejamento da obra; Gerente de contrato da obra; Profa Orientadora; Profa Coorientadora e a mestranda	Nessa reunião foi apresentada a proposta geral do estudo contendo a sugestão de ferramentas de gestão que poderiam ser aplicadas no estudo do empreendimento.
04/02/2021	1h:30min	Diretor de operações da empresa; Engenheiro de planejamento da obra; Gerente de contrato da obra; Engenheira de produção da obra; Diretor de operações da fábrica e a mestranda.	Na respectiva reunião o Diretor de operações da fábrica apresentou a proposta do plano logístico dos elementos pré-fabricados.

Fonte: Elaborado pela autora

3.2.2.3 Seleção de ferramenta de gestão de projetos de construção

A partir de uma busca por ferramentas para serem aplicadas ao planejamento e controle da produção verificou-se que o Departamento de Engenharia Civil da UFSCar possuía uma licença educacional do *software Prevision* – Gestão eficiente de obras, e este já havia sido utilizado por alguns alunos de uma das orientadoras desse estudo. Dessa forma, o *Prevision* foi selecionado para ser utilizado nesse trabalho e ser inserido no processo de planejamento e para que se pudesse avaliar a sua funcionalidade para gerir obras.

O *Prevision* permite a gestão visual do planejamento da obra através de um cronograma expresso em linha de balanço a qual pode ser controlada por meio de medições. O *software* possui a funcionalidade de gerar o relatório das atividades em atraso e o relatório da evolução acumulada do empreendimento, e permite o replanejamento do cronograma.

Por outro lado, na fase inicial de simulação das LDB, a interface do *Prevision* dificultou a visualização do trabalho em progresso e dos fluxos de trabalho. Por esse motivo, pensando em melhorar os aspectos visuais da LDB e facilitar a tomada de decisão sobre o melhor cenário para o empreendimento, as LDB foram simuladas no *MS Excel*.

Além das simulações das LDB, o acompanhamento das atividades executadas também foi feito utilizando o *MS Excel*.

3.2.2.4 Caracterização da empresa

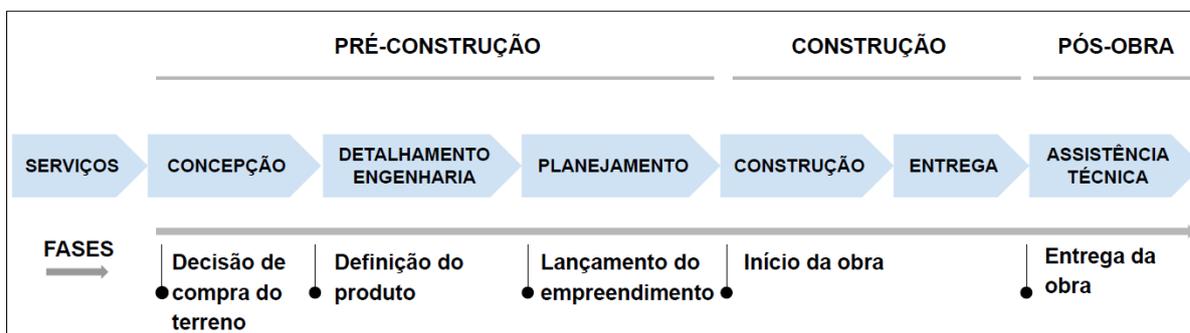
A empresa colaboradora com a pesquisa, identificada neste trabalho como empresa X, foi fundada em 1988 no estado de São Paulo, onde atualmente possui sua sede. A empresa construiu mais de dois milhões de metros quadrados no decorrer dos seus trinta e três anos de atuação em território brasileiro. A construtora desenvolve soluções de engenharia, projeto e construção para diversos setores, tais como: centros de distribuição; edificações comerciais, industriais, institucionais, residenciais e de uso misto; hospitais; hotéis e shoppings, infraestrutura e habitação de interesse social. A empresa abrange tanto os clientes de esfera pública quando da privada.

O quadro de funcionários da empresa X quando esse estudo foi realizado era composto por noventa e três empregados próprios. Além desses, a empresa possuía parceria com vinte e uma (21) empresas subcontratadas. Com relação à estrutura organizacional, a empresa possuía o presidente, os diretores, os gerentes e coordenadores de cada setor. Nas obras, normalmente atuavam um gerente de contrato e os coordenadores, os quais eram engenheiros civis e de produção.

Os projetos desenvolvidos e executados pela empresa X, em sua maioria, apresentavam estruturas pré-fabricadas de concreto, estrutura metálica, painéis pré-fabricados, entre outros elementos. Além disso, a empresa buscava a inserção da tecnologia nos seus processos, a partir do uso do modelo BIM, de técnicas construtivas eficientes e a inclusão dos conceitos da Construção Enxuta nos seus projetos.

Nesse contexto, a empresa atuava em todas as etapas do ciclo de vida da construção, desde o processo de pré-construção, passando pelo processo de construção até o pós-obra. Como pode ser visto no esquema da Figura 14.

Figura 14: Fluxo de produto da empresa



Fonte: Adaptado do acervo da empresa

O trabalho da empresa se iniciava na etapa de pré-construção com a fase de concepção do empreendimento, através do apoio ao cliente com a compra do terreno. Em seguida, se iniciavam os estudos de definição de premissas de engenharia e projeto. Logo após aconteciam os serviços de planejamento do empreendimento. Na etapa da construção, encontrava-se a fase de início da obra e de entrega. E, por fim, tem-se a etapa de assistência técnica onde a empresa realizava os serviços de pós-obra. Nos projetos que utilizavam processos construtivos com elementos pré-fabricados, na maioria das vezes, a empresa trabalhava em parcerias com fábricas

que possuíam experiência no mercado no segmento da produção de peças pré-fabricadas em concreto ou metálicas.

As informações referentes à empresa X foram coletadas a partir do questionário de caracterização da empresa, o qual foi respondido pelo diretor de operações e está disposto no item de Apêndice 1 deste documento.

3.2.3 Fase de Desenvolvimento

A fase de desenvolvimento abrangeu o estudo exploratório visando obter como produto do trabalho a proposição de melhorias para o planejamento e controle da produção. Nessa seção, serão apresentadas as etapas de ajustes e adaptações do planejamento existente, as ferramentas aplicadas e os métodos de controle que foram empregados no decorrer desse estudo.

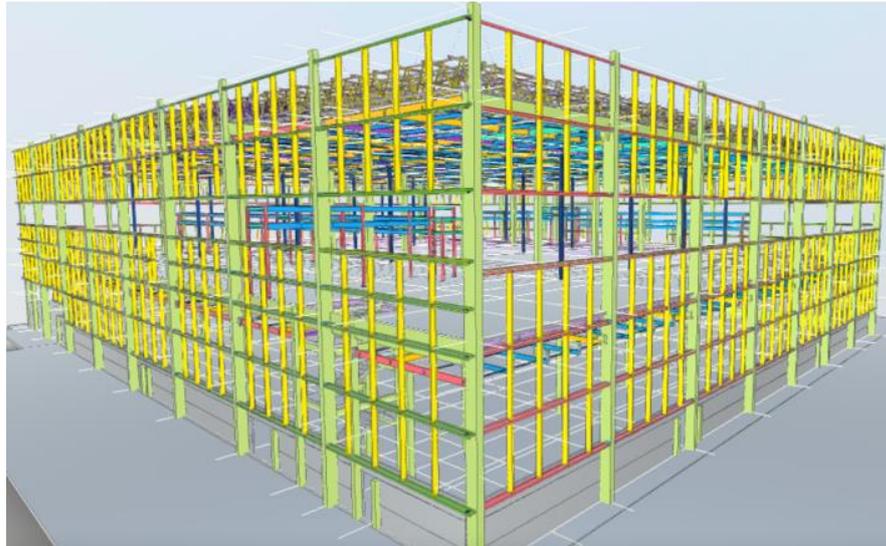
3.2.3.1 Descrição do empreendimento

O estudo exploratório foi realizado em um empreendimento da empresa X que se encontrava em fase de construção na cidade de Anápolis no estado de Goiás e foi destinado à ampliação de indústria química e farmacêutica. O acesso à obra de ampliação era independente da fábrica existente, sendo que o canteiro de obras era delimitado e gerenciado pela empresa contratada.

O objeto de estudo desse trabalho se caracterizou como um empreendimento composto por um projeto de estrutura mista: pré-fabricados de concreto, perfis de aço, painéis pré-fabricados de concreto e cobertura metálica.

A construção pode ser caracterizada como um prédio de dois andares que possui uma área total de doze mil e quatrocentos metros quadrados (12.400 m²). A Figura 15 apresenta duas fotos que ilustram a perspectiva do prédio e uma imagem do projeto estrutural do prédio em perspectiva.

Figura 15: Perspectiva e planta de implantação do empreendimento



Fonte: Adaptado do acervo da obra

A obra em estudo possuía características de construção industrializada e passou a ser objeto de estudo desse trabalho quando a empresa gerenciadora concordou com a realização da pesquisa. Como particularidades de projeto que poderiam ocasionar gargalos no planejamento dos serviços de fabricação e montagem da estrutura pré-fabricada foram observados os seguintes itens: canteiro de obra restrito com uma área pequena destinada ao estoque de material e instalações administrativas; a fábrica (1), que fornecia as peças pré-fabricadas de concreto estava localizada em São José do Rio Preto – SP, enquanto que a obra estava localizada em Anápolis – GO, de modo que o distanciamento entre fábrica e obra representava uma distância média de trezentos e setenta (370) Km; e o prazo inicial para conclusão da obra que havia sido definido para seis (6) meses.

Além disso, existia outra fábrica associada ao processo de fornecimento de pré-fabricados, a fábrica (2), localizada na cidade de Aparecida de Goiânia – GO, a qual possuía a responsabilidade de entregar as lajes do projeto, enquanto a fábrica (1) fornecia os pilares e vigas. Porém, a segunda fábrica estava sob a responsabilidade da fábrica (1) que a contratou para agilizar a execução do projeto.

A obra teve seus processos iniciados em maio de 2020 com prazo previsto de execução em seis (6) meses, conforme já mencionado. Porém, a obra sofreu os efeitos da pandemia da COVID-19 que ocasionaram atrasos nas atividades, mas não houve paralização das atividades. Em dezembro de 2020, o cronograma da obra passou por uma reprogramação que definiu um prazo de oito (8) meses para o término da obra, de forma que a finalização do empreendimento foi estabelecida para o mês de julho de 2021. Ou seja, o planejamento nesse momento considerou a duração de quatorze (14) meses para a execução da obra. No entanto, devido à falta de comprometimento de algumas empresas subcontratadas e aos problemas no planejamento da obra, somado aos efeitos negativos da pandemia da COVID-19, o término da construção do empreendimento aconteceu no mês de outubro de 2021, apresentando um atraso de três (3) meses e duração total de dezessete (17) meses.

A coleta de dados aconteceu a partir do sexto mês de execução da obra (novembro de 2020) e se estendeu até o final de obra (outubro de 2021).

A equipe da obra era composta por um gerente de contrato, um engenheiro de planejamento, uma engenheira de produção, um mestre de obra e um encarregado para cada serviço terceirizado que estivesse sendo executado no empreendimento.

Parte das informações referentes à obra foram coletadas a partir do questionário de caracterização da obra, o qual foi respondido pelo engenheiro de contrato e está disposto no Apêndice 1 desse documento. Outras informações foram repassadas pelo engenheiro de planejamento da obra durante as reuniões do plano de médio prazo que a pesquisadora acompanhou, essas informações que serão descritas no item 4.3.2 desse trabalho.

3.2.3.2 Ajuste do projeto do sistema de produção (PSP)

A partir do contato realizado com a empresa e da descrição da obra apresentada no item 3.2.3.1, percebeu-se a oportunidade de se realizar um estudo voltado ao planejamento e controle da produção do empreendimento.

O estudo teve início a partir da coleta de informações com a empresa que aconteceu durante a reunião descrita no item 3.2.2.2. Posteriormente, foi realizada uma outra reunião com a equipe da obra e um representante do planejamento da fábrica de pré-fabricados.

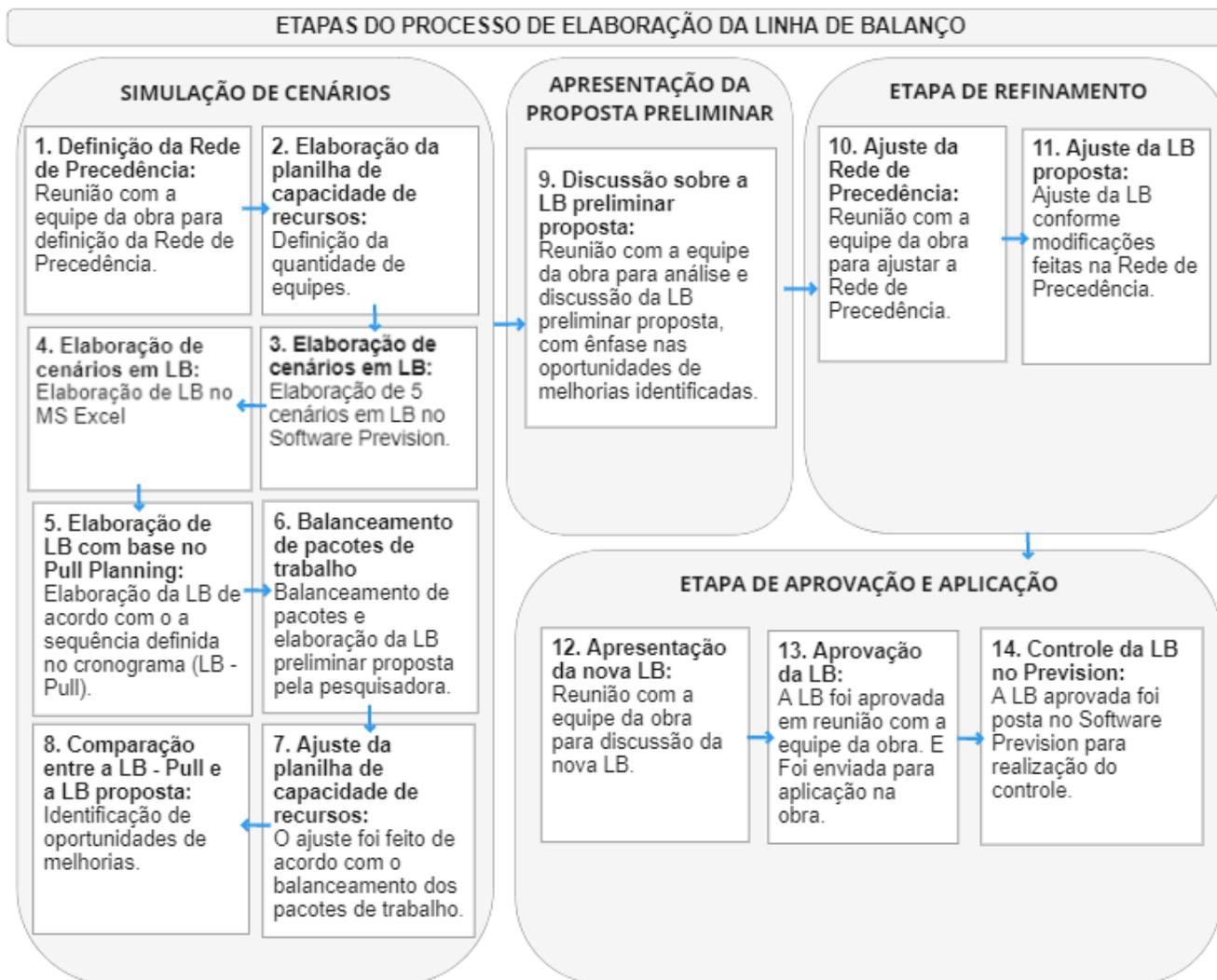
A partir da coleta de informações com os gestores da empresa e análise dos documentos cedidos, verificou-se que o modelo de gestão existente na obra não apresentava um PSP bem definido, e era composto apenas pelos documentos: um cronograma expresso no *MS Project* e um cronograma no formato de *Pull Planning*. Nesse sentido, para deixar o PSP mais bem estruturado, do ponto de vista do sequenciamento das etapas da construção, foram acrescentadas as seguintes ferramentas de planejamento: rede de precedência e linha de balanço.

3.2.3.3 Simulações em linhas de balanço (LDB)

As simulações dos cenários em LDB foram realizadas pela pesquisadora durante os meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021.

O processo de elaboração da LDB foi definido em quatro (4) etapas fundamentais: simulação de cenários, apresentação da proposta preliminar, refinamento e etapa de aprovação e aplicação. A Figura 16 apresenta a sequência de atividades desenvolvidas pela pesquisadora, com auxílio das orientadoras e com a colaboração do engenheiro de planejamento e do gerente de contrato da obra.

Figura 16: Processo de elaboração da Linha de Balanço



Fonte: Elaborado pela autora

O processo de desenvolvimento das LDB abrangeu a etapa de elaboração da rede de precedência e da planilha de capacidade de recursos; as simulações no *Prevision* e no *MS Excel*; uma reunião com a equipe da obra para apresentação da proposta inicial; a etapa de refinamento da rede de precedência e da LDB e uma reunião para apresentação, discussão e aprovação da nova proposta de LDB.

Após a elaboração da rede de precedência e da planilha de capacidade de recursos, foram desenvolvidos os cenários em LDB no *software Prevision*. Porém, a interface do *Prevision* apresentou algumas interferências no processo de construção das LDB, tais como: dificuldades para visualizar trabalho em progresso, o sequenciamento das atividades, bem como os ritmos de produção. Esses fatores levaram a uma mudança de *software*, de modo que as LDB começaram a ser produzidas no *MS Excel*. A mudança de *software* na fase de construção dos cenários em LDB foi necessária para promover melhorias nos aspectos visuais da LDB de modo a facilitar a tomada de decisão pela melhor sequência construtiva, por parte da equipe da obra. Após a aprovação do melhor cenário em LDB, esta e a rede de precedência foram disponibilizadas para a equipe da obra para serem utilizadas. O resultado e produto da sequência de etapas apresentada anteriormente será apresentado no capítulo 4 deste documento.

3.2.3.4 Acompanhamento do sistema produtivo

Para verificar os efeitos das adaptações realizadas no PSP da obra, foi feito um acompanhamento das etapas produtivas. O controle foi realizado a partir da projeção dos serviços realizados na LDB utilizando o *MS Excel* e por meio do Sistema *Last Planner*, com o acompanhamento das reuniões do plano de médio prazo, as quais aconteciam semanalmente.

O acompanhamento do planejamento foi iniciado no mês de fevereiro de 2020 e acontecia às sextas-feiras durante a reunião de planejamento de médio prazo da obra por meio de web conferência. Participavam dessa reunião a equipe da obra, os representantes dos principais fornecedores e a pesquisadora na condição de observadora, podendo interferir para apresentar sugestões de melhorias.

3.2.3.5 Indicadores de gestão da produção oriundos da LDB

A projeção dos serviços realizados na LDB possibilitou a apresentação de indicadores da gestão da produção, são eles: (a) aderência ao plano de ataque; (b) comparação entre o tempo planejado e o tempo de execução da atividade; (c) desvio de prazo e de duração; (d) variação percentual do trabalho em progresso; (e) quebra da rede de precedência.

O indicador de aderência ao plano de ataque foi calculado a partir da verificação de que a atividade foi executada de forma paralela nas quatro etapas (A, B, C e D), “Sim” ou “Não” para as atividades que não foram realizadas de forma paralela nas quatro etapas. Ao final, foi contabilizado o número de atividade que aderiu ao plano de ataque (Sim), bem como o número de atividades que não aderiram ao plano de ataque (Não), em seguida, ao dividir o número de “Sim” e “Não” pelo número total de atividades analisadas, e aplicando a porcentagem, obteve-se o percentual de atividade que aderiram e que não aderiram ao plano de ataque, conforme as equações Equação 1 e Equação 2 apresentadas a seguir.

$$\text{Percentual de atividades que aderiram ao plano de ataque} = \frac{\text{número de "Sim"}}{\text{número de atividades analisadas}} \times 100$$

Equação 1

$$\text{Percentual de atividades que não aderiram ao plano de ataque} = \frac{\text{número de "Não"}}{\text{número de atividades analisadas}} \times 100$$

Equação 2

A partir da contabilização dos dias em que as atividades aconteceram realizou-se a comparação entre os tempos de duração planejados e os tempos de duração executados para as atividades. A partir dessa análise foi possível a obtenção dos desvios de prazo e de duração.

O indicador de desvio de duração foi obtido por meio do resultado da diferença entre a quantidade de dias planejado para a atividade em cada etapa e a quantidade de dias que foi gasto para se executar a atividade em cada etapa, conforme apresentado na Equação 3.

Outro indicador calculado foi o de desvio de prazo, o qual compara a data planejada para a atividade iniciar com a data em que a atividade de fato iniciou. O desvio de prazo será a quantidade de dias de atraso para o início de uma atividade

(desvio de prazo com valores positivos), ou a quantidade de dias de antecedência em que a atividade iniciou (desvio de prazo com valores negativos) com relação a data de início que foi planejada na LDB, o indicador de desvio de prazo foi calculado por meio da Equação 4.

$$\text{Desvio de duração} = \text{número de dias executados} - \text{número de dias planejados}$$

Equação 3

$$\text{Desvio de prazo} = \text{Data de início da execução} - \text{Data de início planejada}$$

Equação 4

Além dos indicadores citados anteriormente, foi verificada a variação do percentual do trabalho em progresso a partir da Equação 5.

$$\text{Variação \%} = \frac{(\text{TP realizado} - \text{TP planejado})}{\text{TP planejado}} \times 100$$

Equação 5

Também se calculou o desvio do paralelismo, ou seja, o desvio entre a quantidades de atividades planejadas para serem executadas em paralelo (QTD planejada) e a quantidade de atividades realizadas em paralelo (QTD realizada), e o resultado foi analisado em módulo, conforme a Equação 6.

$$\text{Desvio} = |\text{QTD planejada} - \text{QTD realizada}|$$

Equação 6

Com base na LDB dos serviços realizados foram verificadas as ocorrências de quebra da rede de precedência das atividades, por meio da detecção das atividades que não foram realizadas na sequência pré-estabelecida na rede de precedência das atividades.

3.2.3.6 Indicadores de gestão da produção oriundos do SLP

A empresa participante do estudo utilizava o SLP na gestão da produção do empreendimento e fazia uso de alguns indicadores do SLP, os quais foram disponibilizados para a análise da pesquisadora. Foram verificados os seguintes indicadores oriundos do SLP: percentual de pacotes concluídos (PPC), índice de remoção de restrições (IRR) e avanço físico. Realizou-se uma análise qualitativa nos indicadores disponibilizados com o objetivo de se avaliar a gestão da produção do empreendimento.

3.2.3.6 Aplicação de questionário de avaliação de estudo de caso

Ao final do trabalho realizado com a empresa X, foi aplicado um questionário de avaliação do estudo de caso com o engenheiro de planejamento da obra, visto que este foi o profissional que apresentou um maior envolvimento e participação durante o estudo. O questionário aplicado apresentava questões objetivas e qualitativas sobre as ferramentas de planejamento que foram sugeridas durante o estudo de caso, bem como sobre ações e decisões estratégicas realizadas pelos engenheiros da obra.

O questionário mencionado anteriormente pode ser visto no Apêndice 2 desse trabalho.

3.2.4 Fase de análise e reflexão dos resultados

Os métodos e ferramentas de observação e análise dos resultados usadas nesse estudo foram os seguintes:

- Observações indiretas e registro de imagem: as essas observações são úteis para se obter informações adicionais sobre o objeto de estudo e as fotografias auxiliam na transmissão destas características (YIN, 2003). A obra foi observada durante a sua execução com o foco de identificar evidências da operacionalização das adaptações no PSP que foram propostas pela pesquisadora. As observações foram feitas através de relatório fotográfico realizado pela equipe de planejamento da obra, o qual foi enviado à pesquisadora. Além disso, a pesquisadora participou das reuniões de planejamento da obra e as informações coletadas, bem

como o registro de imagem do andamento da obra, foi posto em um arquivo de anotações o qual funcionou como um histórico da obra e que foi consultado durante todo estudo. Devido à pandemia da COVID-19, as observações não puderam acontecer de forma direta, por meio de visitas, e desse modo, os registros fotográficos e o diálogo com a equipe de planejamento ocorreram em reuniões virtuais, que se caracterizaram também como ferramenta de observação.

- Observação participante: a observação participante é uma modalidade de observação em que o pesquisador não é apenas passivo, ele assume um papel ativo dentro do estudo participando dos eventos que estão sendo estudados Yin (2003). Visto que esse estudo se refere ao planejamento e controle da produção através do uso do Sistema *Last Planner* associado às ferramentas visuais. A pesquisadora participou das reuniões de médio prazo, juntamente com a equipe da obra (através de plataformas virtuais) para acompanhar as discussões e as tratativas que aconteciam durante as reuniões de planejamento, bem como para sugerir melhorias ao processo.
- Análise de Documentos: de acordo com Yin (2003), o uso de documento é importante para comprovar as evidências advindas de outras fontes. Por outro lado, a análise documental permitiu o conhecimento de todos os processos da empresa. A análise documental foi utilizada durante a realização do estudo para apoiar inserção e o ajuste das ferramentas visuais de planejamento do empreendimento em estudo. Verificou-se alguns documentos como: planilhas de planejamento de longo, médio e curto prazo, projetos, especificações técnicas do empreendimento e indicadores de planejamento, os quais serviram de fontes de evidência para o estudo.

As análises qualitativas foram realizadas considerando os dados obtidos por meio das observações indiretas, dos documentos enviados, das fontes de evidências coletadas durante o desenvolvimento do trabalho, tais como: imagens, documentos e indicadores de gestão fornecidos pela empresa participante, indicadores de gestão obtidos através da LDB, conversas informais com os participantes do estudo, questionário de avaliação do estudo de caso aplicado com o engenheiro de planejamento da obra, e com base em informações provenientes da literatura.

O Quadro 2 apresenta os constructos, seus desdobramentos e as fontes de evidências que foram usadas para avaliar cada subconstructos relacionados ao planejamento, os quais serviram como de orientação para realização da análise final do estudo.

Quadro 2: Constructos, subconstructos e fonte de evidências

Constructos	Subconstructos	Descrição	Fontes de evidência
Utilidade	Incentivo ao processo colaborativo do planejamento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento da comunicação e tomada de decisão colaborativa relacionadas ao planejamento; 2. Colaboração dos envolvidos (engenheiros, coordenadores, fornecedores e clientes) na concepção do empreendimento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise de documentos; 2. Avaliação do planejamento implementado pela empresa X; 3. Observação participante; 4. Percepção da pesquisadora.
	Aumento da transparência e do acesso a informações.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de ferramentas visuais para divulgação do planejamento no canteiro de obra; 2. Análise de indicadores. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observação participante; 2. Avaliação da implementação da LDB proposta; 3. Percepção da pesquisadora.
Facilidade de uso	Contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os envolvidos.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utilização de ferramentas visuais durante as discussões nas reuniões de planejamento; 2. Facilidade de entendimento da programação realizada com o apoio das ferramentas visuais. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Observação participante.
	Participação dos envolvidos no processo de elaboração do planejamento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existência de pedidos de alterações da LDB ou de detalhamento da ferramenta proposta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registro do número de envolvidos na tomada de decisão; 2. Observação participante.
	Possibilidade de continuidade do processo após o estudo.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interesse dos participantes em continuar com o uso das ferramentas propostas em obras futuras. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entrevista com os participantes no estudo; 2. Observação participante.

Fonte: Adaptado de Bortolini (2015)

4 ESTUDO EXPLORATÓRIO

Nesse capítulo serão expressas as atividades desenvolvidas durante o estudo exploratório no empreendimento da empresa X. Serão apresentados o modelo de gestão existente na obra, as ferramentas planejamento sugeridas, e os resultados obtidos no decorrer do estudo de caso.

4.1 MODELO DE GESTÃO EXISTENTE NA OBRA

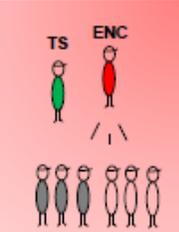
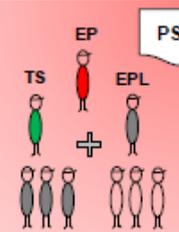
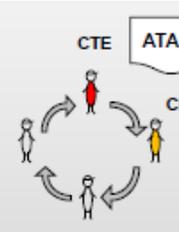
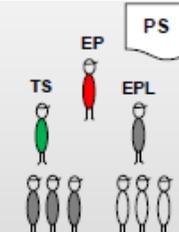
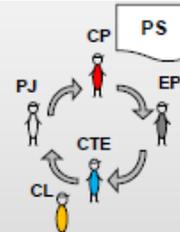
Com base nas informações coletadas com os gestores da obra, entendeu-se que a gestão dos processos do empreendimento era dada por meio do Sistema *Last Planner*, em que a partir de um cronograma de longo prazo era feito um planejamento de médio prazo contendo um horizonte futuro de seis (6) semanas, e, com base no cronograma de médio prazo, era feito o plano de curto prazo com horizonte semanal.

Como apresentado na Figura 17, o ritual de gerenciamento aplicado na obra apresentava três (3) níveis: o nível diário, o semanal e o mensal. No nível diário aconteciam o Diálogo Diário de Segurança (DDS) que tinha duração de quinze (15) minutos e tinha como participantes todos os colaboradores e a equipe de segurança, sendo a primeira atividade do dia. Em seguida, acontecia a reunião de *Check-in* com duração de quinze (15) minutos e tinha como participantes os engenheiros de produção e planejamento; mestres e encarregados, tanto os da própria empresa, quanto os dos fornecedores terceirizados e os técnicos de segurança. A reunião de *Check-in* tinha o objetivo de verificar a conclusão das atividades executadas no dia anterior; criar plano de ação para recuperação das tarefas atrasadas e discutir as possíveis interferências das tarefas do dia.

No nível semanal, as reuniões de planejamento semanal (plano de curto prazo) aconteciam às terças-feiras, as quais tinham duração de uma (1) hora e tinham como participantes os engenheiros de produção e planejamento; mestres e encarregados, tanto os da própria empresa, quanto os dos fornecedores terceirizados e os técnicos de segurança.

Figura 17: Rituais de gerenciamento aplicados na empresa

RITUAIS DE GERENCIAMENTO

DIÁRIA		SEMANAL			MENSAL
8:00 – 8:15	8:15 – 8:30	TERÇA-FEIRA 11:00 – 12:00	À DEFINIR À DEFINIR	SEXTA-FEIRA 10:00 – 12:00	ATÉ DIA 15 DO MÊS
 <p>DDS</p>	 <p>CHECK-IN</p>	 <p>PLANEJAMENTO SEMANAL</p>	 <p>REUNIÃO OBRA CLIENTE</p>	 <p>LOOKAHEAD PLANNING</p>	 <p>REUNIÃO DE DESEMPENHO</p>
<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Todos os colaboradores da Mutual e fornecedores; 2 – Equipes de Segurança.</p>	<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Engenheiros de produção e planejamento; 2 – Mestre e Encarregados da Mutual; 3 – Engenheiro e ou encarregados dos fornecedores; 4 – Técnico de Segurança da Mutual.</p>	<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Engenheiros de produção e planejamento; 2 – Mestre e Encarregados da Mutual; 3 – Engenheiro e ou encarregados dos fornecedores; 4 – Técnico de Segurança da Mutual.</p>	<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Representantes da Brainfama (cliente); 2 – Representantes dos fornecedores; 3 – Gerente de Contrato, engenheiro de planejamento e coordenador de projetos da Mutual.</p>	<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Engenheiros de produção e planejamento; 2 – Gerente do Contrato; 3 – Engenheiro e ou encarregados dos fornecedores; 4 – Técnico de Segurança da Mutual.</p>	<p>1 - PARTICIPANTES</p> <p>1 – Diretores; 2 – Gerentes Corporativos; 3 – Gerente de Contrato;</p>
<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Avaliar os principais RISCOS das tarefas do dia; 2 – Apresentar as principais PROTEÇÕES e ATITUDES SEGURAS frente aos riscos.</p>	<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Verificar a CONCLUSÃO das tarefas do dia anterior; 2 – TOMAR AÇÃO para recuperar tarefas atrasadas na semana; 3 – Discutir interferências das tarefas do dia.</p>	<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Validar os plano semanal com as equipes; 2 – Analisar o PPC da semana anterior e os problemas para não atendimento; 3 – Tomar ações corretivas conforme Pareto dos problemas.</p>	<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Avaliar o cronograma da obra; 2 – Verificar o desempenho dos fornecedores; 3 – Identificar pontos críticos para o desempenho do Contrato.</p>	<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Analisar o sequenciamento das tarefas 6 semanas a frente; 2 – IDENTIFICAR AS RESTRIÇÕES E A REMOÇÃO destas; 3 – Analisar o IRR e os problemas para o não atendimento.</p>	<p>2 - OBJETIVO</p> <p>1 – Analisar os RESULTADOS do contrato (SQEC – Segurança, Qualidade, Entrega e Custo); 2 – Definir ações corretivas para atendimentos as metas do Contrato;</p>

LEGENDA



Puxador da reunião

ENC – Encarregado

TS – Téc. Segurança

EP – Eng. Produção

EPL – Eng. Planejamento

GC – Gerente de Contrato

PJ - Projetistas

CP – Coordenador de Projetos

Fonte: Acervo da obra

O objetivo da reunião de curto prazo era de validar o plano semanal com as equipes; analisar o PPC da semana anterior; verificar as causas dos problemas ocorridos que levaram ao não cumprimento de tarefas e tomar ações corretivas para solucionar tais problemas. Semanalmente também ocorria a reunião da obra com o cliente, a qual não possuía dia fixo e tinha como participantes os representantes do cliente, o gerente de contrato da empresa, o engenheiro de planejamento e o coordenador de projetos. A reunião com o cliente tinha o objetivo de analisar o cronograma da obra; verificar o desempenho dos fornecedores e discutir sobre o andamento do contrato.

Também a nível semanal, as sextas-feiras, aconteciam a reunião *Lookahead Planning* (plano de médio prazo) que tinha duração de uma (1) hora onde participavam os engenheiros de produção e de planejamento; o gerente de contrato; os encarregados próprios e dos fornecedores, bem como os técnicos de segurança. Nessa reunião era analisado o sequenciamento das tarefas num horizonte de seis (6) semanas a frente, eram identificadas as restrições e realizada as remoções destas. Em junho de 2021, para se enquadrar à dinâmica dos fornecedores de estrutura metálica, os gestores decidiram realizar as reuniões de *Lookahead Planning* semanalmente nas quintas-feiras. Durante o estudo de caso a pesquisadora fazia o acompanhamento das reuniões de *Lookahead Planning* na condição de observadora.

Em nível mensal era realizada a reunião de desempenho onde participavam os diretores, gerentes corporativos e gerente de contrato. Nessa reunião eram avaliados os resultados do contrato a nível de qualidade, segurança, entrega e custo e eram definidas as ações corretivas para cumprimento das metas do contrato.

Como ferramentas de planejamento, a equipe da obra utilizava o cronograma feito no *software MS Project* (Figura 18), o planejamento de logo prazo no formato de *Pull Planning* (Figura 19), o planejamento semanal descrito no formato de planilha feita no *software MS Excel* (Figura 20) e posteriormente apresentado em um quadro expositivo (Figura 21) e bem como um banco de tarefas (Figura 22), também no formato de *Pull Planning*, composto por cartões onde eram descritas as tarefas e essas eram coladas no quadro de acordo com o seu status atual (tarefas apresentadas, tarefa “fazendo”, tarefa “aguardando” e tarefa “concluída”) e cada agente (funcionário responsável pela tarefa) possuía uma cor de cartão. Exemplos das ferramentas de planejamento citadas podem ser vistos nas figuras a seguir.

Figura 18: Cronograma de longo prazo no formato MS Project

PRELIMINAR												
Projeto: P55 Novo Prédio de Estéreis												
Id	Mod da Taref	Nome da Tarefa	% concluíd	Duração	Início real	Término real	Início	Término	Início da Linha de Base	Término da linha de base	Varição do término	Semestre 2 2020
1		BRAINFARMA- P55 PRÉDIO ESTÉREIS	22%	262 dias	Seg 24/0...	ND	Seg 24/08	Qua 01/09	Seg 03/08/20	Sex 16/04/	98 dias	
2		Início de Obra	0%	0 dias	ND	ND	Seg 01/02/	Seg 01/02/2	Seg 03/08/20	Seg 03/08/	125 dias	
3		Termo de Incio	0%	0 dias	ND	ND	Seg 01/02/	Seg 01/02/2	Seg 03/08/20	Seg 03/08/	125 dias	
4		Data Marco	99%	223,6 dias	Seg 24/0...	ND	Seg 24/08/	Sex 09/07/2	Seg 24/08/20	Sex 12/03/	84,6 dias	
5		Início da Mobilização	100%	1 dia	Seg 24/0...	Seg 24/0...	Seg 24/08/	Seg 24/08/2	Seg 24/08/20	Seg 24/08/	1 dia	
6		Início Fundação 45 dias após Termo de Início	0%	0 dias	ND	ND	Seg 01/02/	Seg 01/02/2	Qui 17/09/20	Qui 17/09/	93 dias	
7		Termino da Cobertura	0%	0 dias	ND	ND	Qua 14/04/	Qua 14/04/;	Ter 29/12/20	Ter 29/12/	75,6 dias	
8		Termino Piso Interno	0%	0 dias	ND	ND	Qua 05/05/	Qua 05/05/;	Sex 29/01/21	Sex 29/01/	68 dias	
9		Termino Contrato	0%	0 dias	ND	ND	Sex 09/07/	Sex 09/07/2	Sex 12/03/21	Sex 12/03/	84,6 dias	
10		CUSTOS INDIRETOS PARA OBRA	0%	262 dias	Seg 24/0...	ND	Seg 24/08/2	Qua 01/09/2	Seg 03/08/20	Qua 10/03/	125 dias	
11		INDIRETOS	0%	262 dias	Seg 24/0...	ND	Seg 24/08/2	Qua 01/09/2	Seg 03/08/20	Qua 10/03/	125 dias	
12		Custos indiretos	0%	152 dias	Seg 24/0...	ND	Seg 24/08/2	Qua 01/09/2	Seg 03/08/20	Qua 10/03/	125 dias	
13		CANTEIRO DE OBRAS	100%	1 dia	Seg 24/0...	Seg 24/0...	Seg 24/08/2	Seg 24/08/20	Seg 24/08/20	Seg 21/09/	-19 dias	
14		Mobilização/ Instalação do Canteiro de obras	100%	0 dias	Seg 24/0...	Seg 24/0...	Seg 24/08/2	Seg 24/08/20	Seg 24/08/20	Seg 21/09/	-19 dias	
15		CUSTOS DIRETOS PARA OBRAS	24%	217,6 dias	Ter 01/0...	ND	Ter 01/09/2	Sex 09/07/21	Seg 31/08/20	Sex 12/03/	84,6 dias	
16		SERVIÇOS INICIAIS	100%	15 dias	Ter 01/0...	Ter 22/0...	Ter 01/09/2	Ter 22/09/20	Seg 31/08/20	Seg 14/09/	6 dias	
17		LOCAÇÃO DA OBRA	100%	15 dias	Ter 01/0...	Ter 22/0...	Ter 01/09/2	Ter 22/09/20	Seg 31/08/20	Seg 14/09/	6 dias	
18		Execução de gabarito para locação da obra	100%	15 dias	Ter 01/0...	Ter 22/0...	Ter 01/09/2	Ter 22/09/20	Seg 31/08/20	Seg 14/09/	6 dias	
19		FUNDAÇÕES	69%	92 dias	Qui 29/...	ND	Qui 29/10/2	Qui 11/03/21	Qui 03/09/20	Seg 09/11/	85,6 dias	
20		FUNDAÇÕES PROFUNDAS	97%	68,4 dias	Qui 29/...	ND	Qui 29/10/2	Seg 08/02/21	Ter 08/09/20	Seg 09/11/	62 dias	
21		FUNDAÇÕES TIPO HÉLICE CONTÍNUA	97%	68,4 dias	Qui 29/...	ND	Qui 29/10/2	Seg 08/02/21	Ter 08/09/20	Seg 09/11/	62 dias	
22		ESCAVAÇÕES PARA ESTACAS	77%	68,4 dias	Qui 29/...	ND	Qui 29/10/2	Seg 08/02/21	Ter 15/09/20	Seg 09/11/	62 dias	
23		Mobilização e desmobilização de equipamento	100%	6 dias	Qui 29/10/20	Sex 06/11/20	Qui 29/10/20	Sex 06/11/20	Ter 15/09/20	Qua 16/09/20	35 dias	
24		Perfuração estacas ø40cm/ ø50cm/ ø60cm	100%	60 dias	Sex 30/10/20	Qua 27/01/21	Sex 30/10/20	Qua 27/01/21	Qui 17/09/20	Sex 30/10/20	59 dias	
34		Arrasamento de estacas/ Descarte de solo em bota fora	57%	50,4 dias	Qua 25/11/20	ND	Qua 25/11/20	Seg 08/02/21	Seg 21/09/20	Seg 09/11/20	62 dias	
44		ARMAÇÃO DE ESTACAS	100%	60 dias	Sex 30/11/20	Qua 27/01/21	Sex 30/10/20	Qua 27/01/21	Ter 08/09/20	Qua 28/10/20	61 dias	

Projeto: Projeto Estéreis- Brainf	Tarefa		Tarefa Inativa		Acúmulo de Resumo Manual		Marco externo	
Data: Ter 16/03/21	Divisão		Marco Inativo		Resumo Manual		Data limite	
	Marco		Resumo Inativo		Somente início		Andamento	
	Resumo		Tarefa Manual		Somente término		Progresso manual	
	Resumo do projeto		Somente duração		Tarefas externas			

Fonte: Acervo da obra

Figura 19: Planejamento de longo prazo no formato de Pull Planning



Fonte: Acervo da obra

Figura 20: Planejamento semanal no formato MS Excel

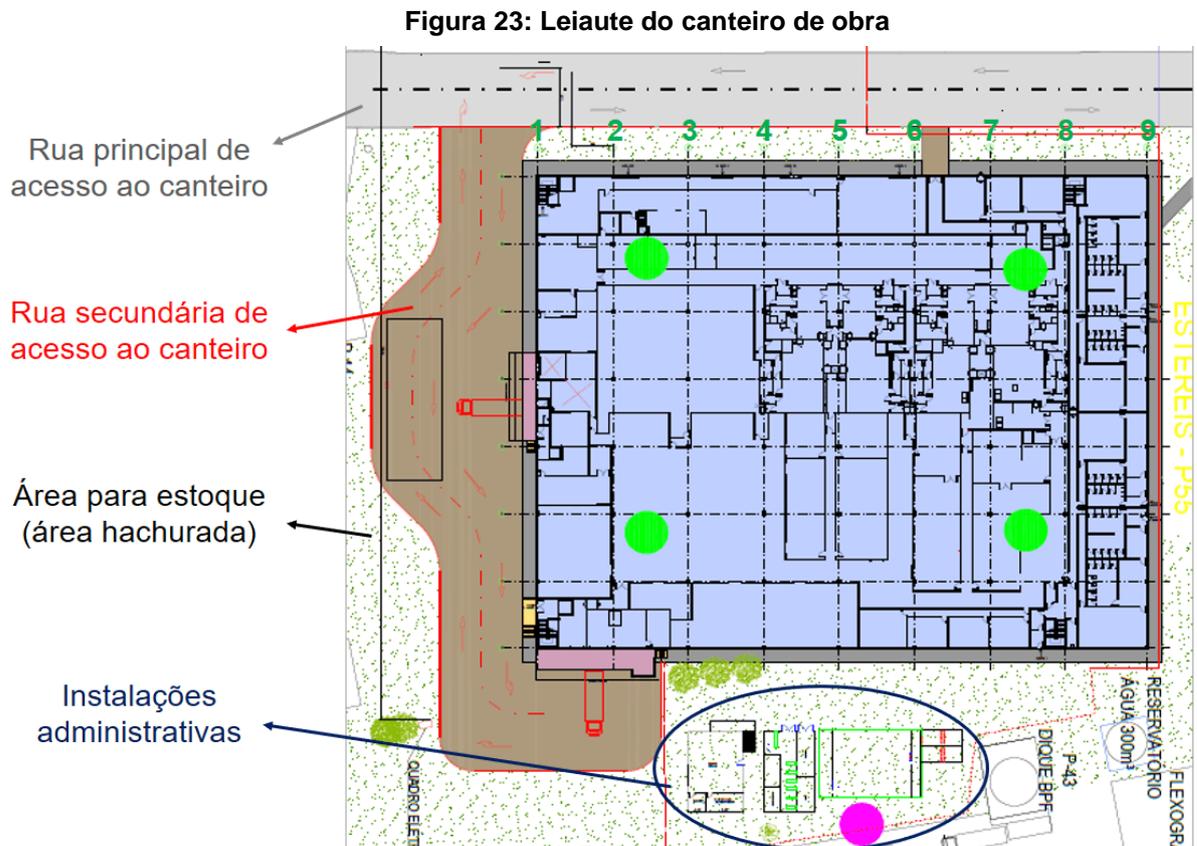
Mutual Engenharia Integrada		PLANO DE CURTO PRAZO					INFORMAÇÕES CONTROLE											
							PPC DA SEMANA					#DIV/0!						
							DATA ATUAL					16/03/2021						
% semana anterior:	0%	Semana:	02/11/20	08/11/20				Semana:										
														5				
Início da semana	Término da semana	N° da semana	Equipe	Setor	EXO	Lote	Atividade	Controle	S	T	Q	Q	S	S	D	Status	N° Causa	RESTRICÇÕES
									02/nov	03/nov	04/nov	05/nov	06/nov	07/nov	08/nov			
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	9	A	Perfuração e concretagem de estacas (10/dia)	P	X	X	X							1- Liberação de equipamentos e caminhões junto a portaria (ADM/Lorena) 2- Programação de concreto na concretora (Lorena) 3- Programação de bomba (Lorena) 4- Programar controle tecnológico (Lorena)
								R										
								M.O	TERC+ 2AJ	TERC+ 2AJ	TERC+ 2AJ							
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	8	A	Perfuração e concretagem de estacas (10/dia)	P				X	X	X				1- Liberação de equipamentos e caminhões junto a portaria (ADM/Lorena) 2- Programação de concreto na concretora (Lorena) 3- Programação de bomba (Lorena) 4- Programar controle tecnológico (Lorena)
								R										
								M.O				TERC+ 2AJ	TERC+ 2AJ	TERC+ 2AJ				
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	9	A	Arrasamento de estacas	P		X	X	X	X	X				1- Comprar Diesel 2- Testar compressor (Lorena) 3- Treinamento de funcionários para operar equipamento (TST) 4- Liberar APR junto a Brainfarma (Adriel)
								R										
								M.O		4AJ	4AJ	4AJ	4AJ	4AJ				
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	9	A	Escavação Mecânicizada e manual de blocos	P		X	X	X	X	X				1- Fazer escadas de acesso para acessar bloco (Lorena) 2- Isolamento de área e instalação de placas de sinalização (TST) 3- Liberação de APR junto a Brainfarma (Adriel)
								R										
								M.O		4AJ	4AJ	4AJ	4AJ	4AJ				
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	9	A	Execução de concreto magro para blocos e=5cm	P		X	X	X	X	X				1- Verificar com alxoxarfado se chegou masselas plasticas, caso não, cobrar suprimentos 2- Checar quantidade de cimento e agregados (Lorena) 3- Fabricação de padola (Mestre)
								R										
								M.O		2P+1AJ	2P+1AJ	2P+1AJ	2P+1AJ	2P+1AJ				
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	9	A	Fabricação e montagem de fôrma	P		X	X	X	X	X				1- Cobrar entrega de compensado plastificado 2- Verificar aquisição de pregos 15x15 (Lorena)
								R										
								M.O		8CARP	8CARP	8CARP	8CARP	8CARP				
02/11/20	08/11/20	5	CIVIL	Fundação	8	A	Montagem de Armação para blocos	P			X	X	X					
								R										
								M.O			10ARM	10ARM	10ARM					

Fonte: Acervo da obra

Como forma de promover a organização do sistema de produção do empreendimento, os gestores da obra tomaram algumas decisões referentes ao canteiro da obra e sobre a estratégia e sequência de execução da construção, conforme será apresentado a seguir.

4.1.1 Disposição do canteiro de obra

O empreendimento dispunha de um canteiro de obra com duas ruas de acesso (principal e secundária) e dois pontos de descarga de caminhões. Além disso, existia uma pequena área em torno do perímetro da edificação, a qual era destinada para o estoque de material e para a construção das instalações administrativas, como pode ser visto na Figura 23. Percebeu-se que, devido às restrições de espaço existentes no canteiro da obra, o processo produtivo deveria ser planejado para haver o mínimo de estoque possível.



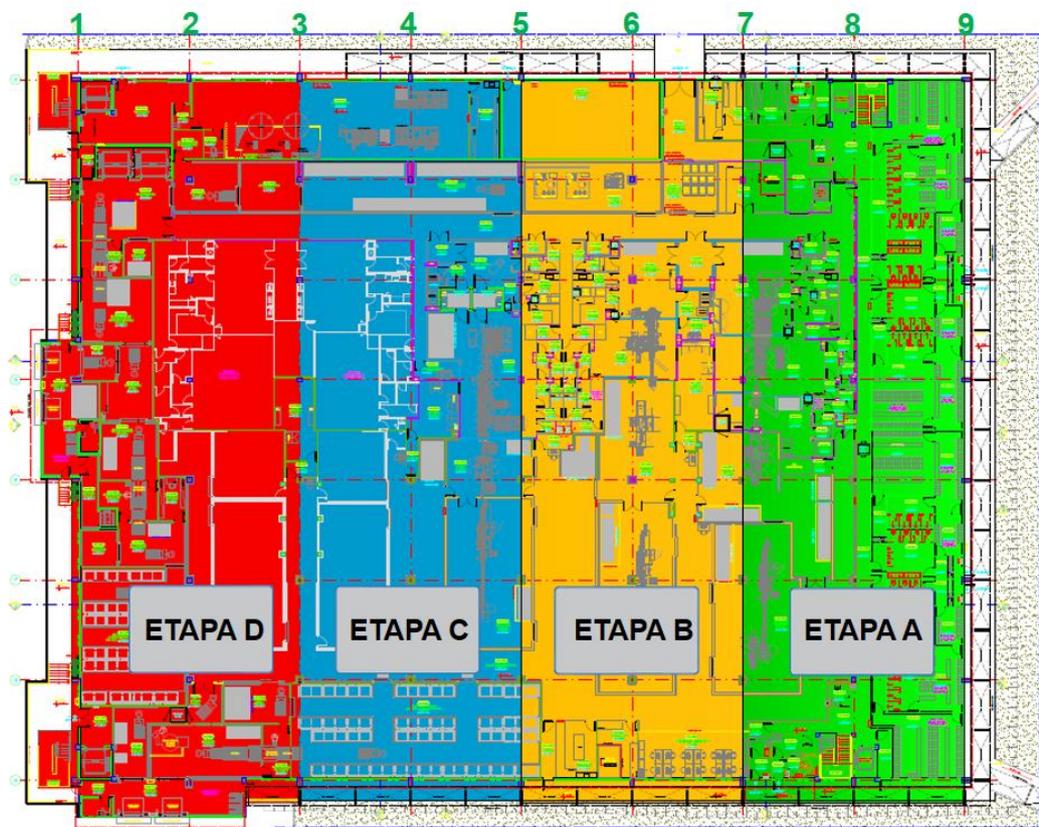
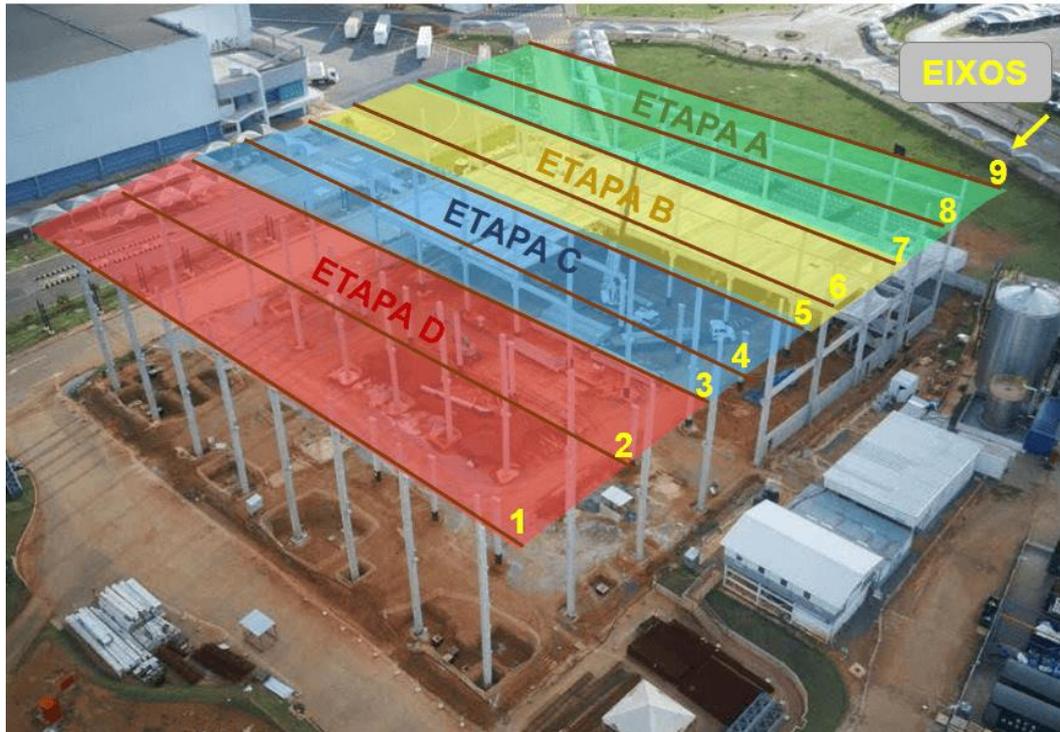
Fonte: Adaptado do acervo da obra

4.1.2 Definição da estratégia e da sequência de execução

Nessa fase os gestores definiram que os principais elementos da estrutura do empreendimento (pré-fabricados de concreto, painéis de fachada, perfis e cobertura metálica) seriam fabricados fora do canteiro em parceria com empresas externas, para que no canteiro pudessem ser montadas. Porém, os serviços de fundação seriam realizados *in loco* por mão de obra própria. Os gestores também estabeleceram cinco (5) lotes de produção ou unidades-base compostos pelos grupos de serviços referentes aos locais de execução, são eles: fundação, pavimento térreo, pavimento superior, cobertura e fachada.

A empresa X e o cliente acordaram que edificação seria dividida em quatro (4) etapas sucessivas de montagem, denominadas como A, B, C e D. A sequência de montagem ou “plano de ataque” se deu a partir da Etapa A e seguindo até a Etapa D. De acordo com a Figura 24, a Etapa A iniciava no eixo 9 e terminava no eixo 7 (representado na cor verde), a Etapa B se começava no eixo 7 e se encerrava no eixo 5 (apresentado na cor amarelo), a Etapa C iniciava no eixo 5 e terminava no eixo 3 (identificado na cor azul), e a Etapa D começava no eixo 3 e terminava no eixo 1 (representado na cor vermelho).

Figura 24: Estratégia de execução do empreendimento



Fonte: Adaptado do acervo da obra

4.2 MODELO DE GESTÃO EXISTENTE NA FÁBRICA DE PRÉ-FABRICADOS

Para se entender o modelo de gestão existente na fábrica (1) foi realizada uma reunião, por meio de plataformas virtuais, com o engenheiro de operações da fábrica (1) e com os engenheiros de produção e planejamento da obra e a pesquisadora. Nessa reunião, a fábrica (1) apresentou o seu plano de longo prazo, o qual se tratava de um cronograma de fabricação e montagem das peças pré-fabricadas de concreto. A Figura 25 apresenta o cronograma de fabricação e montagem dos elementos pré-fabricados de concreto,

Figura 25: Cronograma de fornecimento de peças pré-fabricadas

CRONOGRAMA DE FORNECIMENTO ESTRUTURA PRÉ-FABRICADA					
ID	WBS	Nome da Tarefa	Duração	Início	Conclusão
1	1	CT-1946 - BRAINFARMA	70 dias	Seg 11/01/21	Sex 16/04/21
2					
3	1.1	MILESTONE: 12 pilares	8 dias	Seg 11/01/21	Qua 20/01/21
4	1.1.1	Usinagem das peças	5 dias	Seg 11/01/21	Sex 15/01/21
5	1.1.2	Transporte e Montagem	3 dias	Seg 18/01/21	Qua 20/01/21
6					
7	1.2	1ª FASE - Eixos 9 @ 7	26 dias	Seg 18/01/21	Seg 22/02/21
8	1.2.1	Usinagem das peças	17 dias	Seg 18/01/21	Ter 09/02/21
9	1.2.2	Transporte e Montagem	9 dias	Qua 10/02/21	Seg 22/02/21
10					
11	1.3	2ª FASE - Eixos 7 @ 5	18 dias	Qua 10/02/21	Sex 05/03/21
12	1.3.1	Usinagem das peças	10 dias	Qua 10/02/21	Ter 23/02/21
13	1.3.2	Transporte e Montagem	9 dias	Ter 23/02/21	Sex 05/03/21
14					
15	1.4	3ª FASE - Eixos 5 @ 3	17 dias	Qua 24/02/21	Qui 18/03/21
16	1.4.1	Usinagem das peças	10 dias	Qua 24/02/21	Ter 09/03/21
17	1.4.2	Transporte e Montagem	9 dias	Seg 08/03/21	Qui 18/03/21
18					
19	1.5	4ª FASE - Eixos 3 @ 1	16 dias	Qua 10/03/21	Qua 31/03/21
20	1.5.1	Usinagem das peças	10 dias	Qua 10/03/21	Ter 23/03/21
21	1.5.2	Transporte e Montagem	9 dias	Sex 19/03/21	Qua 31/03/21
22					
23	1.6	EXECUÇÃO DO CAPEAMENTO	30 dias	Seg 08/03/21	Sex 16/04/21

Fonte: Acervo da obra

Como plano de curto prazo, a fábrica apresentou o plano de carga, ou seja, o planejamento de entrega e montagem desses elementos no canteiro de obra, o qual seria enviado à obra semanalmente, mais especificamente às quartas-feiras, para que

fosse discutido às quintas-feiras nas reuniões de médio prazo da obra. Além disso, o fornecedor se comprometeu em manter a participação do encarregado responsável pelos serviços de montagem dos pré-fabricados nas reuniões de médio e curto prazo da obra. A fábrica (1) se comprometeu a fazer o envio das cargas de acordo com a sequência de montagem pré-estabelecida pelos gestores da obra. As Figura 26 e a Figura 27 apresentam a programação semanal das cargas.

Figura 26: Programação semanal de carregamento

PROGRAMAÇÃO DE CARREGAMENTO - qua. 17/02/21 a qua. 24/02/21											
StatusCarga	Programada										
LocalCarreg.	Potirendaba										
Prog.Carregamento	TipoCarreta	CT-Obra	Carga	TipoPeça	ETAPA	Compr.Peça (m)	DataProg.Inicial	DiasAtraso	DataMontagem	Qttd.Carga	
17/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	15	Painel	P55	Padrão	17/02/2021	0	19/02/2021	1	
17/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	32	Painel	P55	Padrão	17/02/2021	0	19/02/2021	1	
19/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	11	Pilar	P55	Padrão	19/02/2021	-2	21/02/2021	1	
19/02/2021	Extensiva	1946 - BrainFarma	10	Pilar	P55	19,05	19/02/2021	-2	21/02/2021	1	
22/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	14	Pilar	P55	Padrão	22/02/2021	-5	24/02/2021	1	
22/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	16	Escada/Viga	P55	Padrão	22/02/2021	-5	24/02/2021	1	
22/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	17	Escada/Viga	P55	Padrão	22/02/2021	-5	24/02/2021	1	
22/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	18	Escada/Viga	P55	Padrão	22/02/2021	-5	24/02/2021	1	
23/02/2021	Curta	1946 - BrainFarma	19	Viga	P55	Padrão	23/02/2021	-6	25/02/2021	1	

Fonte: Acervo da obra

Figura 27: Romaneio de cargas

Obra: 1946

Carga 10 - Rev.: 3

Transportadora:

EXTENSIVEL

Data programação: 19/02/2021

Peça	Obra	Etapa	Código	Seção	Peso Real	Volume	Comprimento	Obs. de Montagem
PP015	1946	PREDIO P55	00034354882 8	40x40	8079	3,150	19,05	PP015
PP019	1946	PREDIO P55	00034354883 1	40x40	7991	3,132	19,05	PP019
PP020	1946	PREDIO P55	00034354882 4	40x40	9259	3,514	19,05	PP020
Total: 3	-	-	-	-	25,3 t	9,796 m ³	57,15 m	-

Motorista: _____

Placa: _____

Equipe: _____

Resp. Carga: _____

Resp. Expedição: _____

Fonte: Acervo da obra

Com relação a identificação das peças pré-fabricadas, a fábrica (1) utilizava um sistema de etiqueta que continha informações importantes como o nome da obra, e o nome da peça, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28: Etiqueta das peças pré-fabricadas de concreto



Fonte: Acervo da obra

Durante a reunião de apresentação do modelo de gestão da fábrica (1) foi observado pela pesquisadora que no romaneio das cargas previstas para chegarem na obra não havia a identificação da etapa a qual as peças pertenciam. A pesquisadora alertou que a falta de tal informação poderia se tornar um problema de logística interna no canteiro e sugeriu que fosse incluído no romaneio das cargas a identificação da etapa a qual as peças pertenciam, de forma a facilitar a identificação, controle e logística das peças pré-fabricadas dentro do canteiro de obra. Mas essa solicitação da pesquisadora não foi acatada.

Além disso, foi sugerido que cada peça pudesse chegar no canteiro apresentando a identificação da etapa pertencente em sua etiqueta, mas essa solicitação também não foi acatada pela fábrica que alegou dificuldade para acrescentar informações no algoritmo do sistema que gerava as etiquetas.

4.3 APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO

Com base nas informações iniciais coletadas com a equipe da obra e da fábrica, percebeu-se algumas oportunidades de melhorias que poderiam ser implementadas para estruturar o PSP e apoiar o planejamento e controle da produção empreendimento. Dessa forma, a pesquisadora juntamente com as orientadoras realizou um estudo na literatura existente e analisou possíveis softwares que pudessem apoiar o planejamento e controle da produção do empreendimento.

Sendo assim, decidiu-se inserir no estudo de caso algumas estratégias e ferramentas que permitissem a visualização, organização e controle dos processos no contexto da execução das atividades existentes no processo produtivo do empreendimento, as quais serão descritas a seguir.

4.3.1 Linha de balanço

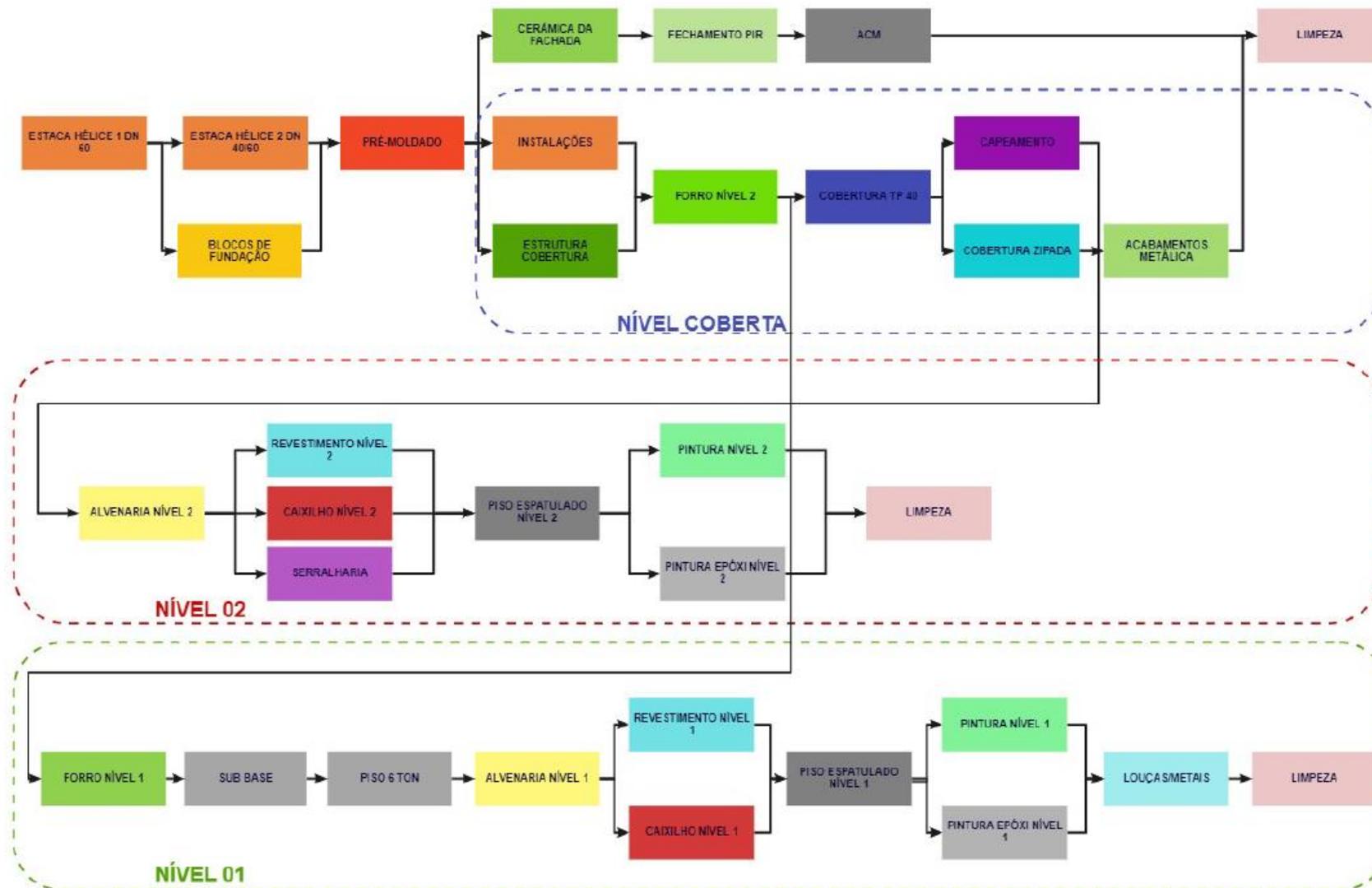
A partir de uma análise feita no modelo de gestão existente na obra, verificou-se que o PSP não estava bem definido, o que poderia ser um fator determinante para ocorrência de uma desorganização do processo produtivo gerando desperdícios.

Na busca por promover melhorias ao processo produtivo, a ferramenta Linha de Balanço (LDB) foi empregada nesse estudo para simular diferentes cenários de organização da produção, de modo que pudessem ser negociados e acatados pelos participantes do empreendimento. Além disso, por ser uma ferramenta visual, a LDB permitiria a representação gráfica do sequenciamento das atividades no tempo e espaço, dos ritmos de produção, dos fluxos de trabalho das equipes, bem como do prazo de execução da obra.

4.3.1.1 Definição da rede de precedência

A rede de precedência é uma ferramenta importante na elaboração do projeto do sistema de produção de um empreendimento, pois ela representa visualmente a sequência das atividades que compõem o sistema produtivo. A partir da rede de precedência, é possível visualizar a relação de dependência entre as atividades do projeto, permitindo assim, a identificação dos gargalos existente no processo. À vista disso, notou-se que o projeto do empreendimento não tinha uma rede de precedência, a qual é fundamental para a elaboração da LDB. Desse modo, através de uma reunião com a participação do engenheiro de planejamento, do engenheiro de contrato da obra, das orientadoras e da pesquisadora, a rede de precedência dos serviços que fazem parte da execução de cada lote de produção ou unidades-base, foi construída, como pode ser visto na Figura 29. Na rede de precedência apresentada percebe-se que uma Etapa apresenta cinco (5) lotes de produção construtivos: Fundação; Nível 1; Nível 2; Coberta e Fachada.

Figura 29: Rede de Precedência das atividades que compõem uma Etapa do empreendimento - versão 1



Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.2 Elaboração da planilha de capacidade de recursos

Com a colaboração do engenheiro de planejamento da obra foi elaborada a planilha de capacidade de recursos, a qual relaciona os serviços; a quantidade de colaboradores por equipe; o tipo de mão de obra (própria ou terceirizada), o tempo de ciclo de cada serviço e o a etapa de transferência.

O planejamento da obra previa a existência de duas equipes para execução dos serviços internos do empreendimento, ou seja, nos níveis 1 e 2, a partir dos serviços de Forro até chegar na atividade de limpeza, para os serviços em comum nos dois níveis estavam previstas duas equipes, uma para cada nível. Um fato a ser destacado na planilha de capacidade de recursos é a variabilidade dos tempos de ciclo do mesmo serviço nas diferentes etapas, não havendo uma padronização no tempo de ciclo, esse detalhe pode ser visto na Figura 30, nas células em destaque.

Figura 30: Planilha de capacidade de recursos

PLANILHA DE CAPACIDADE DE RECURSO POR ETAPA					
ITEM	SERVIÇOS	EQUIPE	RECURSO	TEMPO DE	LOTE DE
			MÃO DE OBRA	CICLO/ PULL	TRANSFERÊNCIA
1	ESTACA HÉLICE 1 DN 60	1 OP 2 AJ	SETE/HR	9	ETAPA A
				5	ETAPA B
				5	ETAPA C
				5	ETAPA D
2	ESTACA HÉLICE 2 DN 40/60	1 OP 2 AJ	SETE/HR	5	ETAPA A
				5	ETAPA B
				5	ETAPA C
3	BLOCOS DE FUNDAÇÃO	16 AJ 14 AR 8 CARP	MUTUAL	11	ETAPA A
				10	ETAPA B
				10	ETAPA C
				15	ETAPA D
4	PRÉ MOLDADO	1 ENC 2 MONT 2 AJ	PROTENDIT	10	ETAPA A
				10	ETAPA B
				10	ETAPA C
				15	ETAPA D

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.3 Elaboração de cenários em LDB

Com base na rede de precedência e na planilha de capacidade de recursos, foram elaborados cinco (5) cenários em LDB no *Software Prevision*. Os primeiros cenários estavam considerando os tempos de ciclo variados conforme a planilha de capacidade de recursos apresentada na Figura 30. Esse fato ocasionou interrupções no ritmo das equipes e uma quantidade expressiva de trabalho em progresso. Dessa

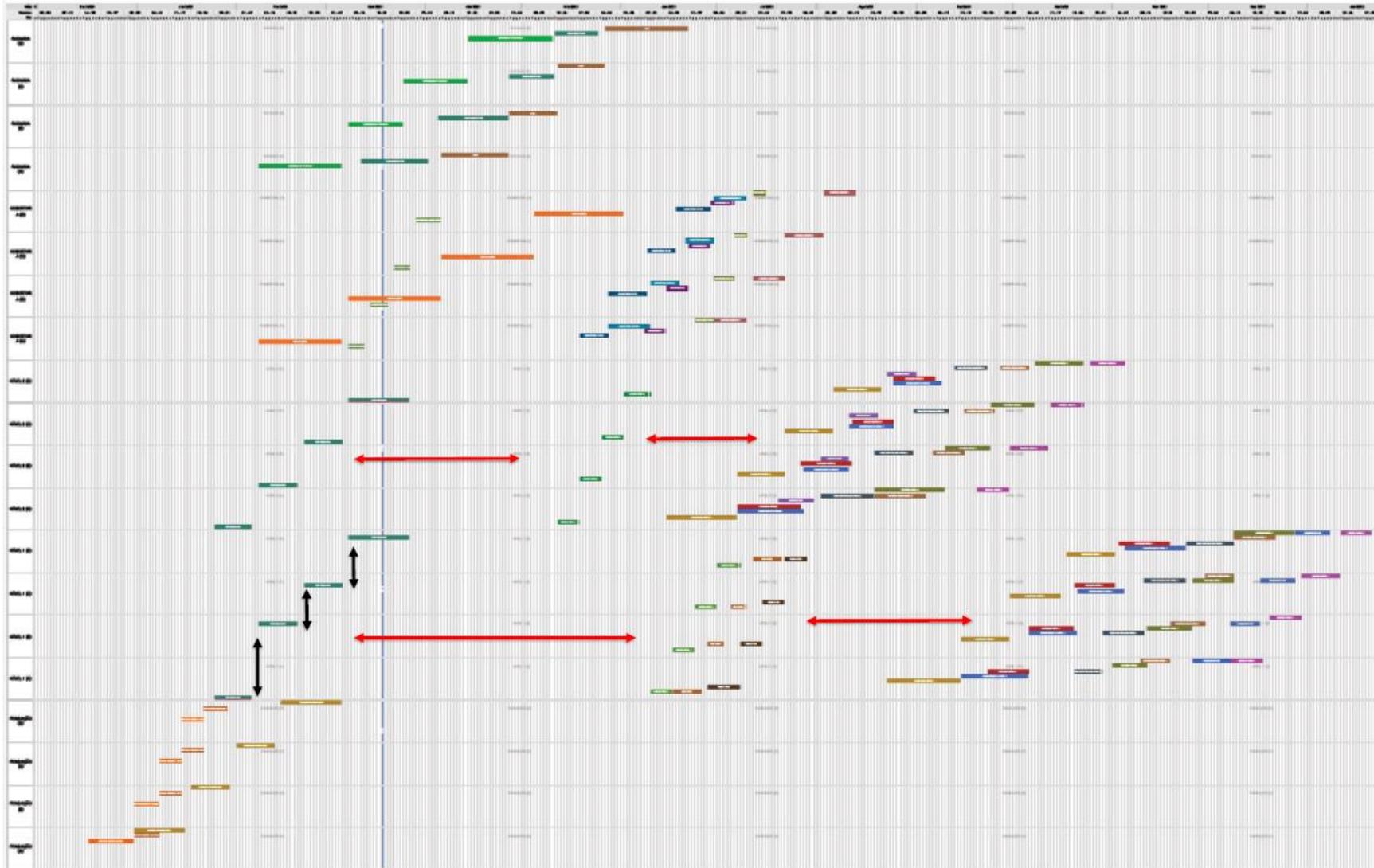
forma, para visualizar melhor o ritmo de produção das equipes, foram utilizados apenas um tempo de ciclo para cada serviço, considerando o maior tempo entre as quatro (4) etapas (A; B; C e D), e assim foi construída a linha de balanço, buscando o fluxo ininterrupto entre as equipes. O resultado desse trabalho pode ser visto na Figura 31.

Conforme a LDB exposta anteriormente, mesmo fazendo o ajuste no tempo de ciclo, ainda existia uma quantidade expressiva de trabalho em progresso, o qual está representado pelas setas vermelhas, na direção horizontal, presentes na Figura 31.

Além disso, notou-se que a interface do *Software Prevision* dificultava a visualização do sequenciamento das atividades e dos ritmos de produção, devido ao espaçamento presente entre as etapas, como pode ser visto através das setas pretas, na direção vertical, presentes na Figura 31.

Outro problema identificado na interface do *Prevision*, foi a não ocultação dos finais de semanas e feriados, representados no cronograma da Figura 31, pelas colunas cinza escuro, o que ocasionou uma quebra no sequenciamento das atividades, dificultando a visualização da continuidade dos fluxos de trabalho.

Diante dessas interferências, decidiu-se fazer a simulação da LDB utilizando o *MS Excel*, na tentativa de promover melhoria nos aspectos visuais da LDB.

Figura 31: Linha de Balanço construída no *Prevision* - Fluxo ininterrupto das equipes

Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.4 *Elaboração de cenários em LDB no MS Excel*

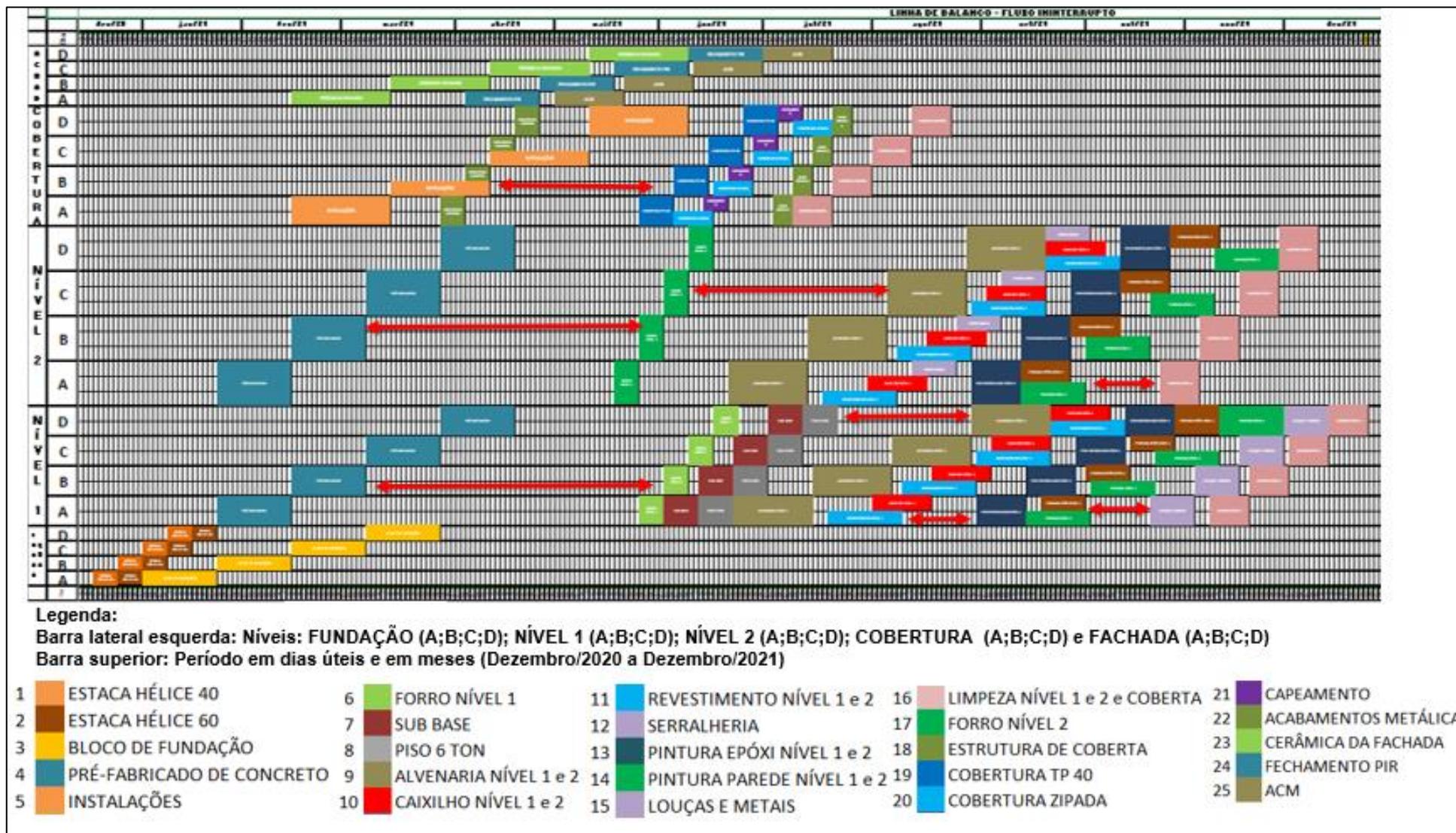
Considerando as dificuldades enfrentadas com a interface do *Prevision*, os cenários em LDB passaram a ser produzidos no *MS Excel*. A Figura 32 apresenta a LDB com fluxo ininterrupto entre as equipes construída no *MS Excel*, a qual foi chamada de LDB - Proposta 1.

Na barra lateral esquerda da LDB mostrada na Figura 32, encontra-se a divisão da produção em quatro (4) etapas construtivas: A; B; C e D. As etapas caminham no sentido horizontal e abrange todo o perímetro da construção. Cada etapa comporta os cinco (5) lotes construtivos, os quais caminham no sentido vertical da construção, são eles: Fundação; Nível 1; Nível 2; Cobertura e Fachada. Na barra horizontal superior, encontra-se a escala de dias úteis dividida em meses no ano.

Como resultado da migração feita do *software Prevision* para o *MS Excel*, foi possível obter um calendário contendo apenas dias úteis, além disso, a interface do *MS Excel* permitiu o ajuste das linhas, de modo que cada serviço se repete em cada etapa sem haver interrupções entre eles, dessa maneira, foi possível uma melhor visualização de trabalho em progresso, (alguns exemplos da existência de trabalho em progresso estão representados pelos espaços delimitados pelas setas horizontais vermelhas presente na Figura 32) o sequenciamento das atividades, a percepção dos ritmos de produção e os fluxos de trabalho.

Esse cenário mostrou a necessidade de se realizar o balanceamento dos serviços para que a quantidade de trabalho em progresso fosse diminuída. O cenário apresentado obteve o fluxo ininterrupto entre as equipes, porém, o cronograma mostrou um prazo de doze (12) meses totalizando um período de duzentos e cinquenta e sete (257) dias úteis, e o prazo definido pela diretoria após uma reprogramação foi de oito (8) meses, iniciando de dezembro de 2020 até julho de 2021.

Figura 32: Linha de Balanço construída no MS Excel – Fluxo ininterrupto das equipes: LDB - Proposta 1

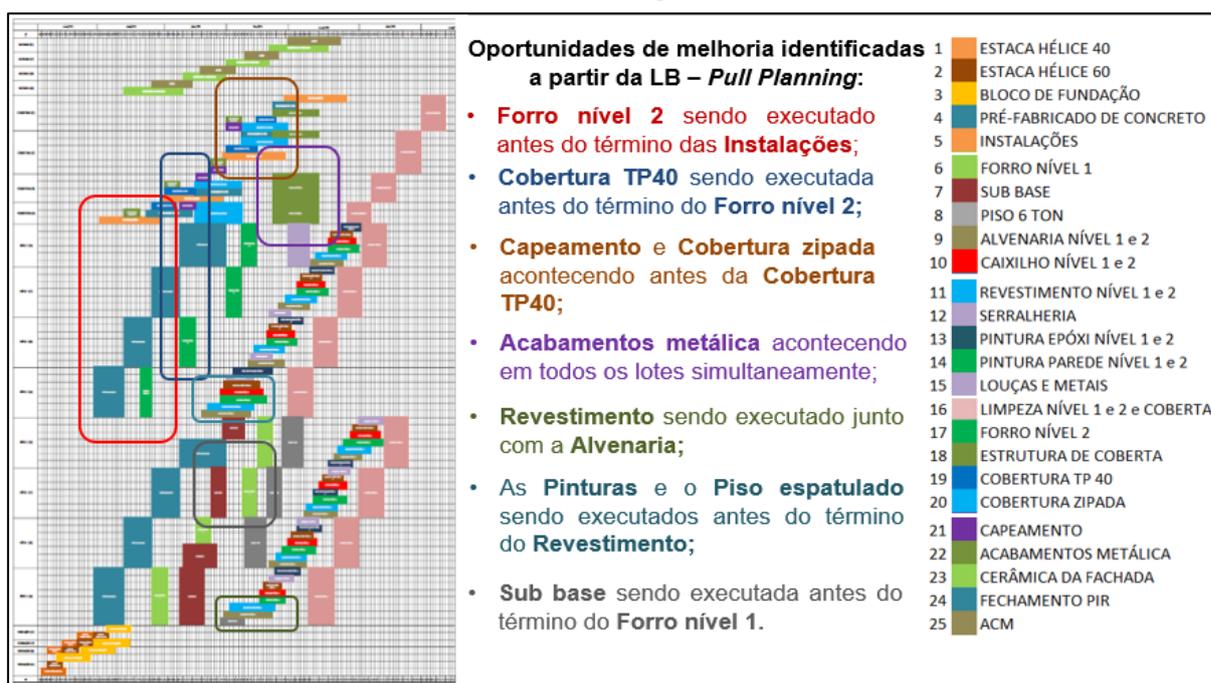


Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.5 Elaboração de LDB com base no Pull Planning

Para verificar o fluxo de trabalho gerado pela programação de atividades estabelecidas no cronograma do *Pull Planning* da obra, foi construída uma LDB a partir dos prazos do *Pull Planning*. A Figura 33 apresenta a LDB – *Pull Planning* que mostra algumas oportunidades de melhorias identificadas através da representação da LDB.

Figura 33: Linha de Balanço construída a partir dos prazos do cronograma *Pull Planning*

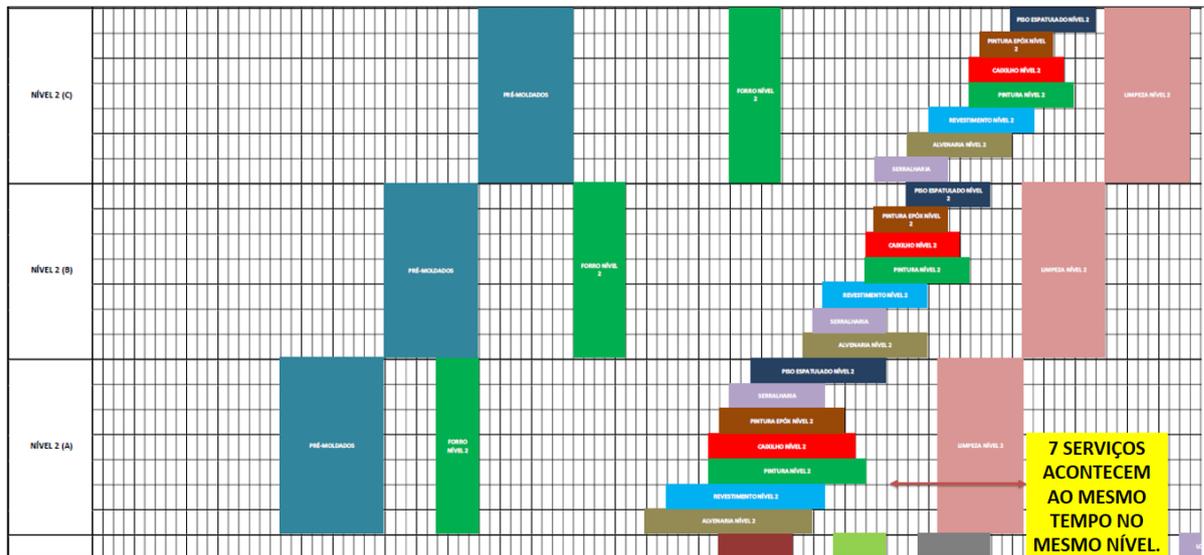


Fonte: Elaborado pela autora

A partir da LDB – *Pull Planning*, foi possível verificar que o planejamento de execução de serviços apresentado no *Pull Planning* da obra não estava obedecendo as predecessoras apontadas pela rede de precedência que foi elaborada com a participação dos gestores do empreendimento. A Figura 33 mostra que através da LDB – *Pull Planning*, foi possível identificar sete (7) ocorrências onde existiam serviços programados antes do término do serviço predecessor definido na rede de precedência. Por outro lado, também foi verificada a existência de vários serviços programados para serem executados ao mesmo tempo no mesmo nível, esse fato pode ser visto na Figura 34, onde destaca-se a programação de execução de sete (7) serviços diferentes no mesmo nível. A existência de várias atividades acontecendo

simultaneamente pode dificultar o controle de qualidade dos serviços, e recomenda-se que situações como essa seja evitada.

Figura 34: LDB - Pull Planning destacando várias atividades com execução programadas para acontecerem simultaneamente



Fonte: Elaborado pela autora

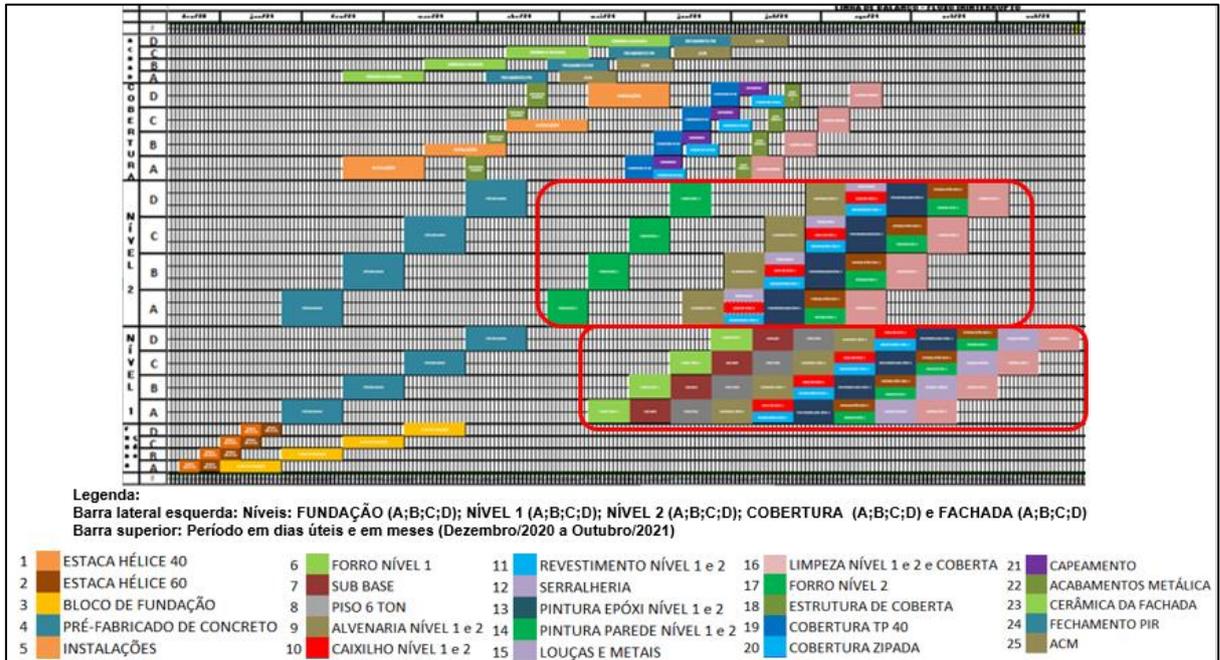
A construção da LDB – *Pull Planning* reafirmou a importância de o sistema produtivo ser guiado pela existência de uma rede de precedência das atividades em conjunto da ferramenta de LDB para que se tenha um processo produtivo de fácil visualização, livre de interferência, e otimizado. Além disso, é importante destacar que o cronograma no formato de *Pull Planning*, apesar de ser uma ferramenta visual e colaborativa, não se exclui a necessidade de se construir uma LDB para visualizar e planejar o processo produtivo visando a padronização das atividades e a criação uma estrutura de repetição, de forma a se obter um ritmo contínuo das equipes.

4.3.1.6 Balanceamento de pacotes de trabalho

A partir da construção da LDB – Proposta 1 identificou-se a necessidade de se realizar o balanceamento das equipes para diminuir a quantidade de trabalho em progresso e estabelecer um *tack time*, ou seja, o ritmo de produção das atividades. Inicialmente foi feito um balanceamento dos serviços internos que seriam executados nos níveis 1 e 2 (a partir do Forro até Limpeza), onde foi estabelecido um tempo de dez (10) dias para execução desses serviços. Depois de padronizar o tempo dos

serviços internos, a LDB – Proposta 2 foi simulada, e o resultado pode ser visto na Figura 35.

Figura 35: Linha de Balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 2



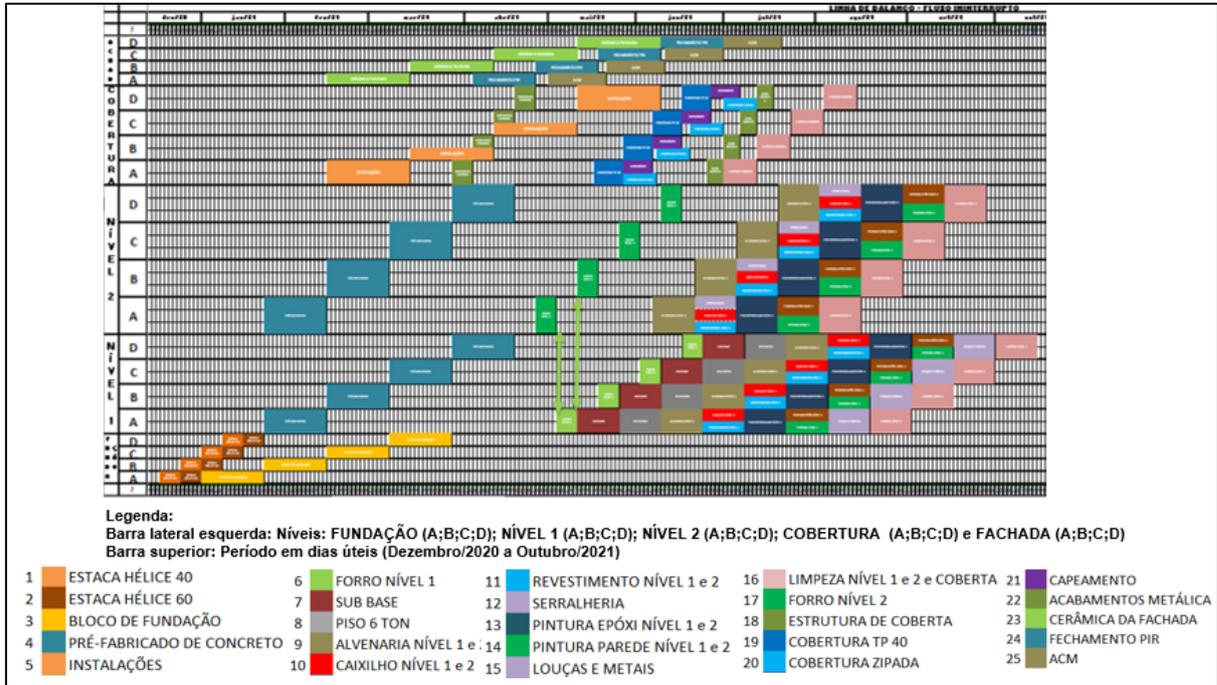
Fonte: Elaborado pela autora

O cenário exposto na LDB – Proposta 2 quando comparado com a LDB – Proposta 1, apresenta algumas melhorias como: a diminuição do trabalho em progresso entre os serviços internos (a partir dos serviços de Forro até a Limpeza), os quais estão em destaque nos retângulos de cor vermelha na Figura 35; a diminuição do trabalho em progresso se deu a partir da padronização dos tempos de execução dos serviços internos para dez (10). A definição de um ritmo de execução padronizado desses serviços, também resultou em uma diminuição do prazo da obra em trinta e sete (37) dias úteis em comparação com o prazo apresentado pela LDB – Proposta 1. A LDB – Proposta 2 propôs o cronograma com término da obra em outubro de 2021, sendo que a LDB – Proposta 1 previa que a obra se encerraria em dezembro de 2021.

Como o prazo de execução do complemento da obra de oito (8) meses (até julho de 2021) solicitado pela empresa não havia sido atingido, foi construído um novo cenário, onde foi realizado uma mudança na execução dos serviços de Forro nos níveis 1 e 2. O novo cenário chamado de LDB – Proposta 3 previa apenas uma equipe para execução dos serviços de Forro, de modo que essa equipe executaria o serviço de Forro no nível 2 da Etapa A, e passaria para o nível 1 da etapa A, depois iria para o nível 2 da etapa B e recomençaria o ciclo até chegar na etapa D. Esse fluxo da equipe

de Forro pode ser visto através das setas verdes presentes na Figura 36. Essa mudança proporcionou uma redução de dez (10) dias quando comparada com a LDB – Proposta 2.

Figura 36: Linha de balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 3



Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.7 Ajuste da planilha de capacidade de recursos

A partir da realização do balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços internos dos níveis 1 e 2, a planilha de capacidade foi modificada. Com a padronização dos tempos de ciclo dos serviços internos para dez (10) dias. Houve atividades que sofreram aumento no tempo de ciclo, outras sofreram redução e algumas já haviam sido programadas para acontecerem com um prazo de dez (10) dias, essas não sofreram modificações.

As mudanças feitas na planilha de capacidade de recurso podem ser vistas na Figura 37 e Figura 38.

Figura 37: Balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços do nível 2

PLANILHA DE CAPACIDADE DE RECURSO POR ETAPA							PLANILHA DE CAPACIDADE DE RECURSO POR ETAPA						
ITEM	SERVIÇOS	EQUIPE	RECURSO MÃO DE OBRA	TEMPO DE	TEMPO DE	ETAPA DE	ITEM	SERVIÇOS	EQUIPE	RECURSO MÃO DE OBRA	TEMPO DE	TEMPO DE	ETAPA DE
				CICLO (PULL)	CICLO PROPOSTO						CICLO (PULL)	CICLO PROPOSTO	
15	FORRO NÍVEL 2	4 SOLD 4 MONT 3AJ	TERCEIRIZADA	5	10	ETAPA A	21	PINTURA NÍVEL 2	6 PINT. 3 AJ	TERCEIRIZADA	15	10	ETAPA A
				5	10	ETAPA B					10	10	ETAPA B
				5	10	ETAPA C					10	10	ETAPA C
				5	10	ETAPA D					10	10	ETAPA D
16	ALVENARIA NÍVEL 2	10 P 6 AJ	PRÓPRIA	16	10	ETAPA A	22	PINTURA EPOXI NÍVEL 2	6 PINT. 3 AJ	TERCEIRIZADA	12	10	ETAPA A
				11	10	ETAPA B					7	10	ETAPA B
				11	10	ETAPA C					7	10	ETAPA C
				15	10	ETAPA D					8	10	ETAPA D
17	REVESTIMENTO NÍVEL 2	10 P 6 AJ	PRÓPRIA	10	10	ETAPA B	23	LIMPEZA NÍVEL 2	4 AJ	À DEFINIR	8	10	ETAPA B
				10	10	ETAPA C					8	10	ETAPA C
				10	10	ETAPA D					8	10	ETAPA D
				14	10	ETAPA A							
18	CAIXILHO NÍVEL 2	4 SERR.	TERCEIRIZADA	12	10	ETAPA B							
				9	10	ETAPA C							
				9	10	ETAPA D							
				9	10	ETAPA A							
19	SERRALHERIA	6 SERR.	TERCEIRIZADA	7	10	ETAPA B							
				7	10	ETAPA C							
				7	10	ETAPA D							
				7	10	ETAPA A							

Legenda: P - Pedreiro SOLD - Soldador SERR - Serralheiro
 AJ - Ajudante OP - Operador MONT - Montador
 PINT. Pintor AR - Armador CARP - Carpinteiro

QTD DE DIAS MAIOR QUE O PREVISTO
 QTD DE DIAS MENOR QUE O PREVISTO
 QTD DE DIAS IGUAL AO PREVISTO

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 38: Balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços do nível 1

PLANILHA DE CAPACIDADE DE RECURSO POR ETAPA							PLANILHA DE CAPACIDADE DE RECURSO POR ETAPA						
ITEM	SERVIÇOS	EQUIPE	RECURSO MÃO DE OBRA	TEMPO DE	TEMPO DE	ETAPA DE	ITEM	SERVIÇOS	EQUIPE	RECURSO MÃO DE OBRA	TEMPO DE	TEMPO DE	ETAPA DE
				CICLO (PULL)	CICLO PROPOSTO						CICLO (PULL)	CICLO PROPOSTO	
24	FORRO NÍVEL 1	4 SOLD 4 MONT 3AJ	TERCEIRIZADA	5	10	ETAPA A	29	CAIXILHO NÍVEL 1	6 SERR.	TERCEIRIZADA	9	10	ETAPA A
				5	10	ETAPA B					9	10	ETAPA B
				5	10	ETAPA C					9	10	ETAPA C
				5	10	ETAPA D					9	10	ETAPA D
25	SUB BASE	3 OP	TERCEIRIZADA	7	10	ETAPA B	31	PINTURA NÍVEL 1	6 PINT. 3 AJ	TERCEIRIZADA	11	10	ETAPA D
				5	10	ETAPA A					8	10	ETAPA A
				5	10	ETAPA C					9	10	ETAPA B
				7	10	ETAPA D					9	10	ETAPA C
26	PISO 6 TON	4 AR 2 OP 4 AJ	TERCEIRIZADA	8	10	ETAPA A	32	PINTURA EPOXI NÍVEL 1	6 PINT. 3 AJ	TERCEIRIZADA	13	10	ETAPA D
				5	10	ETAPA B					6	10	ETAPA A
				5	10	ETAPA C					7	10	ETAPA B
				16	10	ETAPA A					7	10	ETAPA C
27	ALVENARIA NÍVEL 1	10 P 6 AJ	PRÓPRIA	11	10	ETAPA B	33	LOUÇAS/METAIS	TERCEIRIZADA	9	10	ETAPA D	
				11	10	ETAPA C				8	10	ETAPA A	
				11	10	ETAPA D				7	10	ETAPA B	
				15	10	ETAPA A				7	10	ETAPA C	
28	REVESTIMENTO NÍVEL 1	10 P 6 AJ	PRÓPRIA	10	10	ETAPA B	34	LIMPEZA NÍVEL 1	4 AJ	À DEFINIR	9	10	ETAPA D
				10	10	ETAPA C					8	10	ETAPA A
				10	10	ETAPA D					8	10	ETAPA B
				12	10	ETAPA A					8	10	ETAPA C

Legenda: P - Pedreiro SOLD - Soldador SERR - Serralheiro
 AJ - Ajudante OP - Operador MONT - Montador
 PINT. Pintor AR - Armador CARP - Carpinteiro

QTD DE DIAS MAIOR QUE O PREVISTO
 QTD DE DIAS MENOR QUE O PREVISTO
 QTD DE DIAS IGUAL AO PREVISTO

Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 37, e a Figura 38, apresentam uma comparação dos tempos de ciclo definidos no cronograma do *Pull Planning* com os tempos definidos no balanceamento. As células da coluna “tempo de ciclo proposto” que foram pintadas de verde, indicam que a quantidade de dias sofreu um aumento, as que foram pintadas de vermelho, mostram que a quantidade de dias foi reduzida, as que foram pintadas de amarelo, indicam que a quantidade de dias permanece igual à do *Pull Planning*.

4.3.1.8 Comparação Entre a LDB – Pull e a LDB Proposta 3

Ao se realizar uma comparação entre a LDB – *Pull Planning* (Figura 33), a qual apresentava a sequência construtiva e os prazos definidos no cronograma do *Pull Planning* da obra, e a LDB – Proposta 3 (Figura 36), pode-se destacar que a existência de fluxo ininterrupto, a definição de um ritmo de produção, a diminuição de 60% do trabalho em progresso e a diminuição da quantidade de atividades planejadas para acontecerem simultaneamente, foram aspectos de melhorias apresentados no cenário na LDB – Proposta 3 em detrimento da LDB – *Pull Planning*.

O fato de não se ter alcançado o prazo de oito (8) meses para término da obra, possivelmente tinha relação com o longo tempo de ciclo estabelecido para execução das instalações, e esse serviço se tornou um gargalo dentro do processo, visto que ele era predecessor dos serviços de Forro e da Cobertura, e a execução desses eram necessários para a liberação dos serviços internos. Esses fatores mostraram que havia necessidade de se fazer ajustes na rede de precedência, ou até mesmo no tempo de ciclo das atividades.

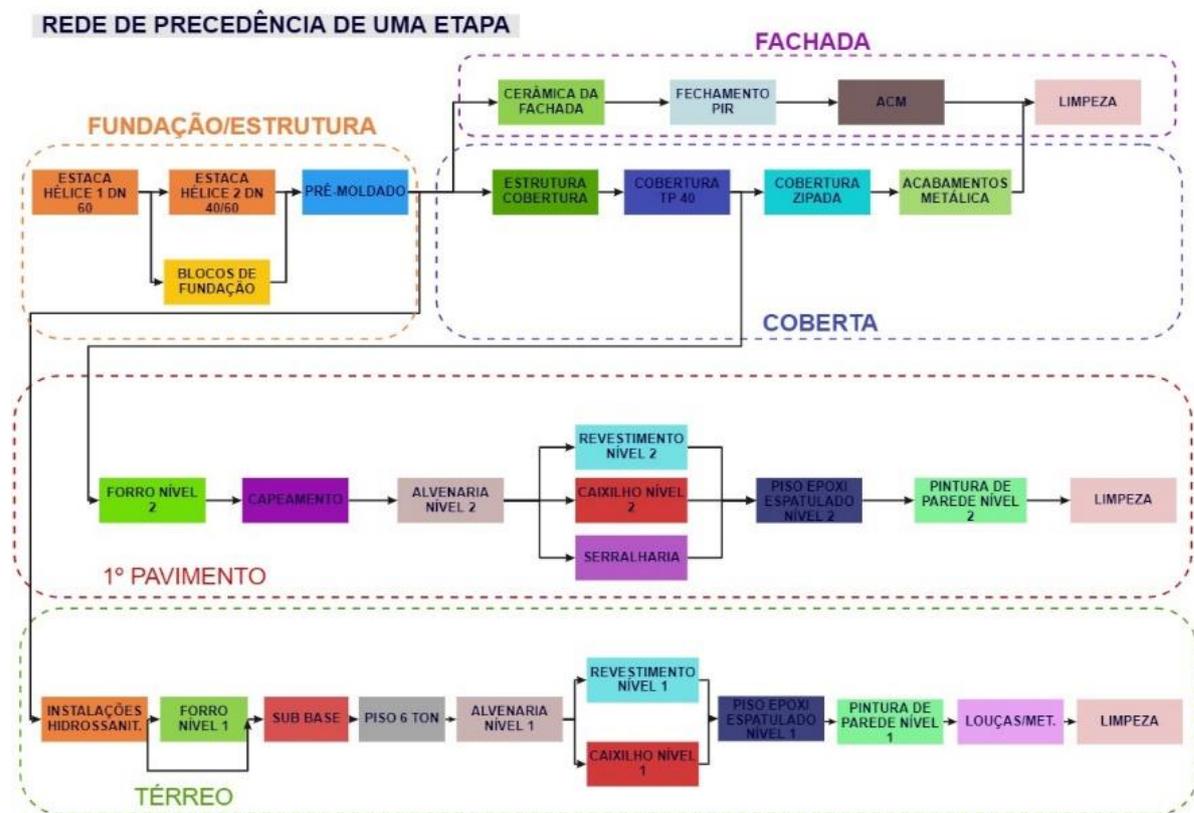
4.3.1.9 Discussão sobre a LDB preliminar proposta

Durante uma reunião com a participação da equipe da obra (engenheiro de planejamento, gerente de contrato e o diretor de operações) e da equipe de pesquisadores (as orientadoras e a mestranda) a mestranda apresentou a proposta preliminar de ajuste do projeto do sistema de produção, composta pela rede de precedência e pela LDB – Proposta 3. Foi discutida a importância de se seguir a rede de precedência das atividades e foram apontadas as oportunidades de melhorias identificadas a partir da LDB – *Pull Planning*, as quais enfatizaram a necessidade da LDB para se obter a organização e controle do processo produtivo. Nessa reunião os gestores perceberam que se definir um *takt time* para os serviços internos poderia ser uma estratégia eficaz e acataram a proposta. Além disso, ficou acordado que a rede de precedência da obra seria revisada, bem como os prazos definidos na planilha de capacidade de recursos, visando se obter um ajuste na LDB para se alcançar o prazo de oito (8) meses almejado pelos gestores da obra.

4.3.1.10 Ajuste da rede de precedência

Por meio de uma reunião com a equipe da obra (engenheiro de planejamento e o gerente de contrato) a rede de precedência elaborada anteriormente foi avaliada. As dependências de cada serviço que compõe a rede foram analisadas o que resultou em algumas modificações. A rede de precedência foi reformulada e o resultado pode ser visto na Figura 39.

Figura 39: Rede de Precedência das atividades que compõem uma etapa do empreendimento – versão 2



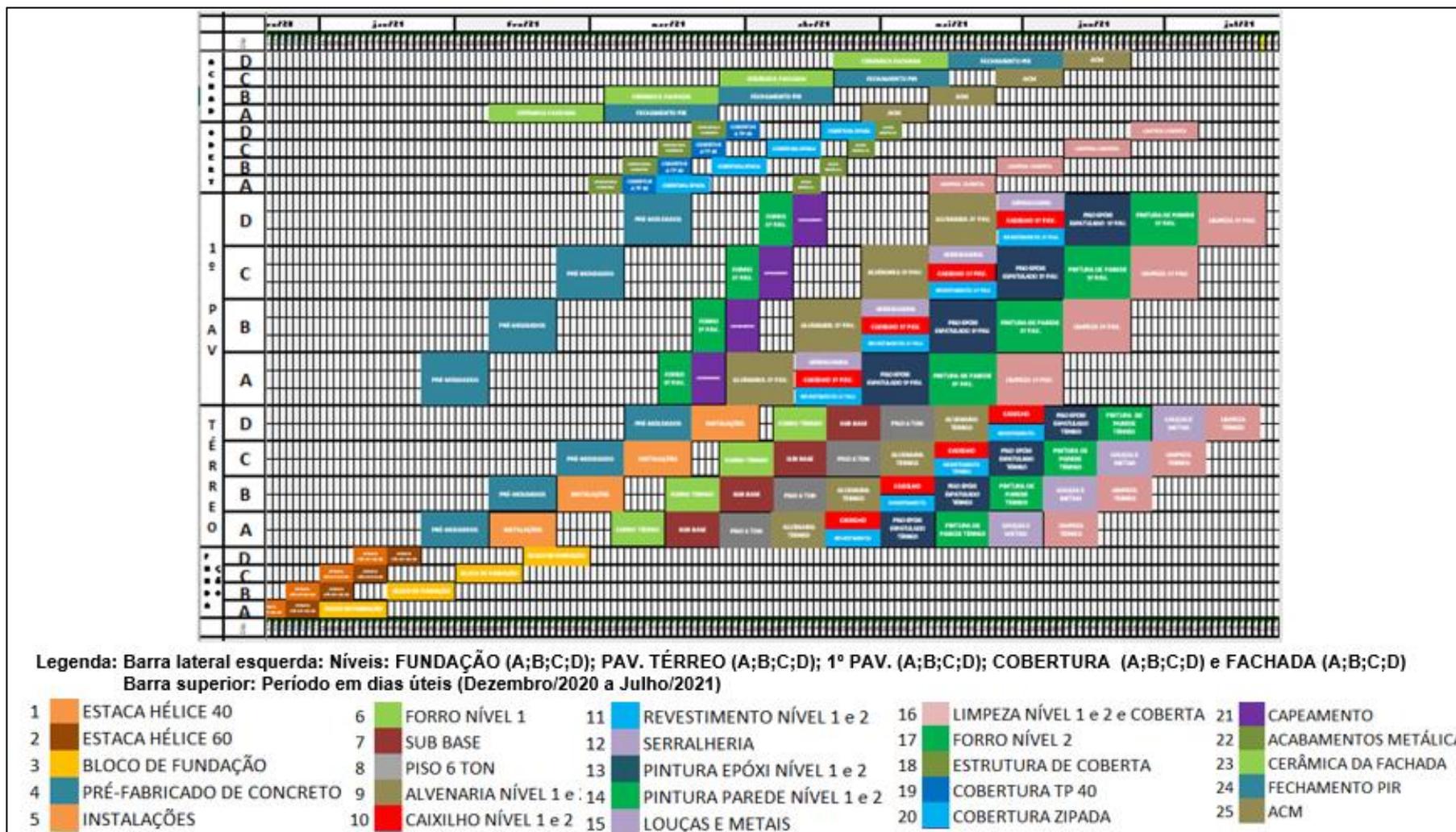
Fonte: Elaborado pela autora

A versão 2 da rede de precedência apresenta algumas importantes modificações, dentre elas estão: os lotes chamados de níveis 1 e 2 passaram a se chamar de Térreo e 1º Pavimento respectivamente; os serviços de instalações passaram a ser predecessores apenas para os serviços do lote Térreo e os serviços do lote 1º Pavimento passaram a depender apenas das atividades dos lotes de Fundação/Estrutura e Coberta.

4.3.1.11 *Ajuste da LDB proposta*

Utilizando o sequenciamento de tarefas apresentado na versão 2 da rede de precedência, uma nova versão da LDB foi construída. Na LDB – Proposta 4 também foi feito um novo balanceamento dos tempos de ciclo dos serviços internos do lote térreo. Através dessas modificações, foi possível diminuir ainda mais o trabalho em progresso, melhorar o ritmo da produção e reduzir o prazo do cronograma, de modo que a LDB atingiu o tempo de obra de oito (8) meses – de dezembro de 2020 a julho de 2021, almejado pela equipe da obra. A LDB – Proposta 4 pode ser vista na Figura 40.

Figura 40: Linha de Balanço com serviços balanceados – LDB Proposta 4



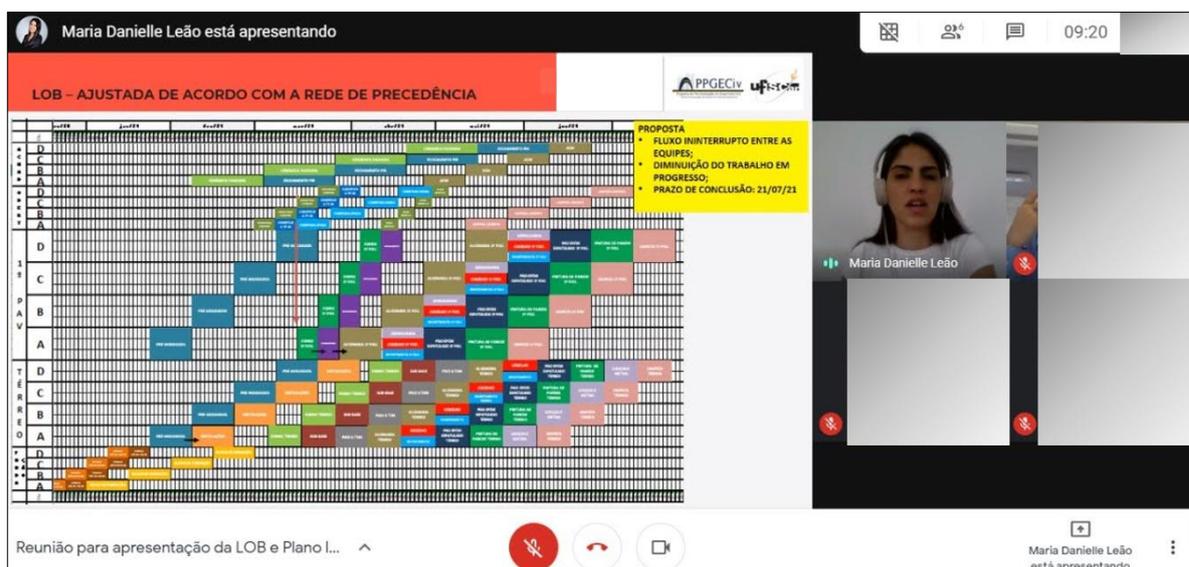
Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.12 Apresentação da nova LDB

Depois que a rede de precedência foi ajustada e a LDB – Proposta 4 foi elaborada, realizou-se uma reunião com a equipe da obra (engenheiro de planejamento, engenheira de produção, gerente de contrato e diretor de operações) e com as pesquisadoras (orientadoras e a mestranda). Nessa reunião foi discutido sobre a funcionalidade da LDB – Proposta 4 na prática. Os gestores consideraram uma boa estratégia utilizar a LDB – Proposta 4 para ajudar na visualização da sequência das atividades, no controle das equipes, bem como no planejamento de execução das tarefas. Foi evidenciado a necessidade de se atentar para o planejamento e controle dos serviços dos pré-fabricados de concreto, ou seja, o primeiro serviço a ser realizado nos lotes Térreo e 1º Pavimento, marcado na cor azul na LDB da Figura 40, visto que essa atividade é predecessora de todos os outros serviços dos lotes Térreo, 1º Pavimento, Cobertura e Fachada.

A Figura 41 apresenta um registro da reunião de apresentação da proposta de LDB.

Figura 41: Registro da reunião de apresentação da proposta de Linha de Balanço para a equipe da obra



Fonte: Elaborado pela autora

4.3.1.13 Aprovação da LDB

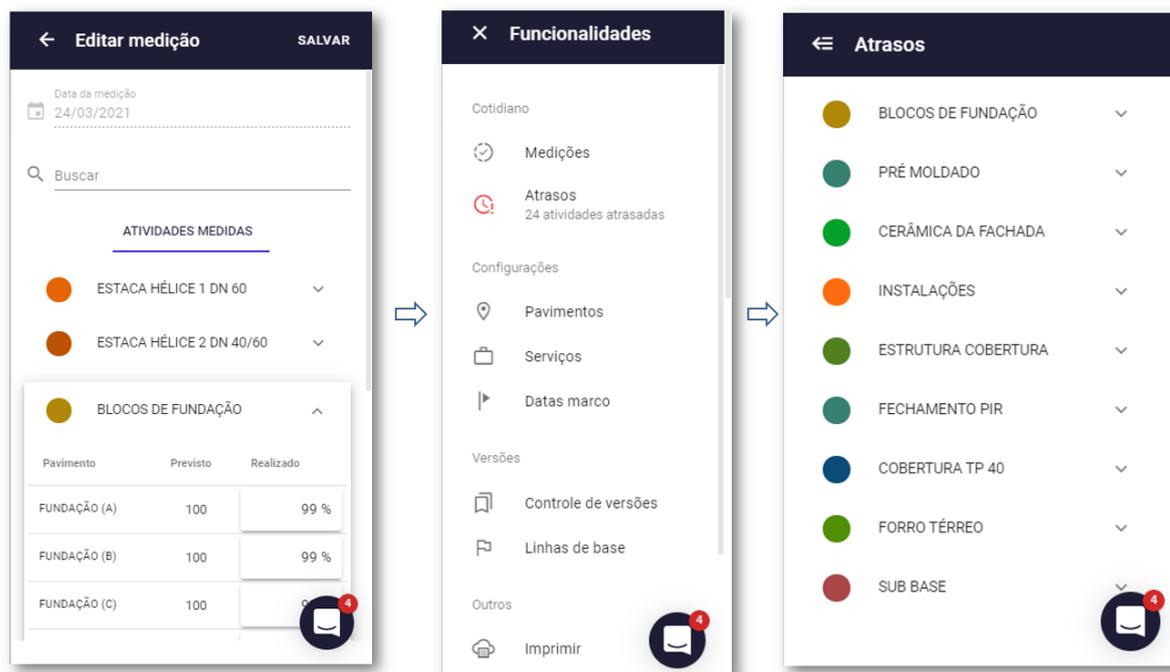
A LDB – Proposta 4 aprovada na reunião e a rede de precedência foram enviadas ao engenheiro de planejamento da obra para serem impressas e postas no quadro de planejamento e serem vistas por todos os envolvidos no processo de produção do empreendimento.

4.3.1.14 Controle da LDB no Prevision

Após a aprovação da proposta de linha de balanço a LDB – Proposta 4, esta foi inserida no *software Prevision* para que fosse iniciado o controle. O *Prevision* permite se fazer medições dos percentuais das atividades que foram realizadas até o momento em que se esteja efetuando a medição. Além disso, o *software* apresenta a quantidade de tarefas que possam estar atrasadas e permite que o cronograma seja atualizado considerando o atraso existente. Dessa forma, foi feito um acordo com o a equipe de planejamento, para que fosse enviado semanalmente à pesquisadora o avanço físico da obra, para que esta pudesse fazer as medições e atualização do cronograma e gerar relatórios do andamento da obra através do próprio *software*, os quais poderiam ser discutidos com a equipe de planejamento buscando as ações necessárias para solucionar eventuais problemas. O acompanhamento foi iniciado após a aprovação da LDB pelos gestores da obra. A Figura 42, Figura 43 e Figura 44 apresentam um exemplo de como o gerenciamento da linha de balanço foi iniciado no *Prevision*.

A Figura 43 apresenta o aspecto visual do cronograma após a realização da medição. As atividades que foram medidas aparecem com a cor esbranquiçada, já as atividades em atraso aparecem sem alteração na cor, e esses dois tipos de atividades são delimitadas por uma linha vertical, na cor azul, a qual representa o dia em que a medição foi realizada. Ao final da medição, um relatório de atividade em atraso é disponibilizado pelo *Prevision*. A medição utilizada como exemplo, foi realizada no dia 24 de março de 2021 e apresenta a situação do avanço físico real da obra, evidenciando um atraso expressivo na execução dos elementos pré-fabricados de concreto.

Figura 42: Exemplo da funcionalidade do *Prevision* – medição atual e as atividades atrasadas



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 43: Aspecto visual do cronograma após a realização de uma medição



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 44: Relatório de atividades atrasadas após a realização da medição

Planilha Gerada Em 24/03/2021 Porcentagens Calculadas Com Base Na Medição do Dia: 24/03/2021					
	Serviço	Pavimento	Previsto (%)	Realizado (%)	Atraso (%)
	BLOCOS DE FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO (D)	100	99	1
	BLOCOS DE FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO (C)	100	99	1
	BLOCOS DE FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO (B)	100	99	1
	BLOCOS DE FUNDAÇÃO	FUNDAÇÃO (A)	100	99	1
	PRÉ MOLDADO	1º PAV. (D)	50	0	50
	PRÉ MOLDADO	1º PAV. (C)	100	0	100
	PRÉ MOLDADO	1º PAV. (B)	100	0	100
	PRÉ MOLDADO	1º PAV. (A)	100	20	80
	PRÉ MOLDADO	TÉRREO (D)	50	0	50
	PRÉ MOLDADO	TÉRREO (C)	100	0	100
	PRÉ MOLDADO	TÉRREO (B)	100	0	100
	PRÉ MOLDADO	TÉRREO (A)	100	30	70
	CERÂMICA DA FACHADA	FACHADA (B)	47,059	0	47,059
	CERÂMICA DA FACHADA	FACHADA (A)	100	0	100
	INSTALAÇÕES	TÉRREO (C)	50	0	50
	INSTALAÇÕES	TÉRREO (B)	100	0	100
	INSTALAÇÕES	TÉRREO (A)	100	0	100
	ESTRUTURA COBERTURA	COBERTURA (B)	100	0	100
	ESTRUTURA COBERTURA	COBERTURA (A)	100	0	100
	FECHAMENTO PIR	FACHADA (A)	47,059	0	47,059
	COBERTURA TP 40	COBERTURA (A)	100	0	100
	FORRO TÉRREO	TÉRREO (B)	12,5	0	12,5
	FORRO TÉRREO	TÉRREO (A)	100	0	100
	SUB BASE	TÉRREO (A)	12,5	0	12,5

Fonte: Elaborado pela autora

Como pode ser visto na Figura 44, o *Prevision* relacionava as atividades que estavam planejadas para a data em que está sendo realizada a medição. O *software* mostrava o percentual previsto (na coluna “previsto”) de acordo com o cronograma da LDB, e o realizado pode ser digitado (na coluna “realizado”) pela pessoa que estava gerenciando os dados. Ao salvar a medição, automaticamente era gerada a quantidade de atividades que não foram medidas e estavam em atraso.

Destacou-se o fato de que o *Prevision* permitia que fossem realizadas medições de percentuais de pacotes de trabalho, no entanto, o Sistema *Last Planner* levava em consideração apenas os pacotes de trabalho que estavam totalmente concluídos.

Inicialmente, no mês de fevereiro de 2021, havia sido acordado que a obra enviaria à pesquisadora os dados dos serviços realizados semanalmente para que fosse feito o controle do executado no *Prevision*. No entanto, devido à dinâmica acelerada da obra, esta não estava enviando os dados com a frequência necessária, de forma que foi decidido fazer a LDB com os prazos dos serviços realizados através do *MS Excel*, ao final do estudo de caso, quando os dados do realizado fossem

fornecidos pela obra e dessa forma esperou-se obter indicadores de gestão da produção a partir da LDB.

É importante ressaltar novamente que devido a pandemia da COVID-19, todo contato feito entre a pesquisadora e a equipe da obra foi realizado por meio de plataformas virtuais e o compartilhamento de dados e informações foram feitos por meio de e-mails.

4.3.2 Acompanhamento do planejamento da obra

O acompanhamento das atividades do planejamento da produção do empreendimento aconteceu através da participação da pesquisadora nas reuniões de planejamento de médio prazo da obra, que aconteceram de forma remota, por meio da plataforma digital *Microsoft Teams*; a partir do envio de fotos do empreendimento à mestrandia pelo engenheiro de planejamento do empreendimento e por meio de documentos como a planilha de planejamento de médio prazo contendo as datas em que os serviços foram planejados e as datas em que foram executados. Dessa maneira, a pesquisadora participou das reuniões do planejamento de médio prazo da obra na condição de observadora, e sempre que possível, apresentava sugestões de melhorias para o processo.

No mês de fevereiro de 2021 deu-se início ao acompanhamento do planejamento da produção do empreendimento por parte da mestrandia.

O Quadro 3 apresenta o histórico das reuniões de planejamento de médio prazo da obra que aconteciam semanalmente, nas quais houve participação da mestrandia como observadora. As reuniões aconteciam às sextas-feiras, porém a partir do mês de junho de 2021, para melhorar o acompanhamento da dinâmica da obra, as reuniões passaram a acontecer às quintas-feiras.

Quadro 3: Acompanhamento das reuniões de planejamento de médio prazo

(continua)

Data	Duração	Participantes	Pauta	Assunto tratado / Observação
05/02/2021	1h:00min	Engº de Contrato; Engº de Planejamento; Engª de Produção; Enc. de Pré-fabricados de Concreto; Enc. de Estrutura de Aço e Pesquisadora.	Planejamento de Médio Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre o plano de carga do fornecedor de pré-fabricados de concreto; • Alerta para o cumprimento da sequência de montagem dos pré-fabricados de concreto estabelecida; • Alerta para o atraso na entrega da estrutura de aço (efeito da pandemia da COVID-19); • Análise das restrições.
12/02/2021	40min	Engº de Contrato; Engº de Planejamento; Engª de Produção; Engº responsável e Enc. de Pré-fabricados de Concreto; Enc. de Estrutura de Aço; Engº de Segurança e Pesquisadora.	Planejamento de Médio Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre a chegada de peças pré-fabricadas de concreto no canteiro de obra que não obedeciam a sequência planejada; • Discussão sobre formas de melhorar a logística interna de montagem dos pré-fabricados de concreto no canteiro de obra; • Análise das restrições.
19/02/2021	40min	Engº de Contrato; Engº de Planejamento; Engª de Produção; Engº responsável e Enc. de Pré-fabricados de Concreto; Enc. de Estrutura de Aço; Engº de Segurança e Pesquisadora.	Planejamento de Médio Prazo	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre a chegada de peças pré-fabricadas de concreto no canteiro de obra que não obedeciam a sequência planejada; • Discussão sobre as alternativas de melhorar a logística interna de montagem dos pré-fabricados de concreto no canteiro de obra; • Análise das restrições.
26/02/2021	Não houve reunião			
05/03/2021	Nesse período não houve acompanhamento. O Engenheiro de Planejamento manteve foco nas reuniões diárias de <i>check-in</i> e <i>check-out</i> e não conseguiu incluir o acompanhamento da pesquisadora nesse período.			
12/03/2021				
19/03/2021				
26/03/2021				
02/04/2021				
09/04/2021				
16/04/2021				
23/04/2021				
30/04/2021				
07/05/2021				
14/05/2021				
21/05/2021				
28/05/2021				

Quadro 3: Acompanhamento das reuniões de planejamento de médio prazo

(continuação)

Data	Duração	Participantes	Pauta	Assunto tratado / Observação
03/06/2021	30min	Engº de Planejamento; Enc. das Instalações; Enc. das Alvenarias e Pesquisadora	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação do Plano de Ação para cumprimento do prazo da obra (Julho/2021); • Discussão da programação com os encarregados dos serviços de instalações e alvenarias; • Análise das restrições.
10/06/2021	30min	Engº de Planejamento e Pesquisadora	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre a estratégia de execução dos serviços internos, e de fechamento (cobertura e painéis metálicos); • Análise de restrições.
17/06/2021	Não houve acompanhamento. O Engenheiro de Planejamento, o qual conectava a pesquisadora na reunião por meio de plataforma digital, não estava na obra.			
24/06/2021		Engº de Planejamento; Engª de Planejamento da empresa X (convidada); Enc. de Estrutura de Aço; Engº de Segurança e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • Foi sinalizado que os serviços de estrutura metálica era o gargalo do mês; • Foi sinalizado o atraso nos serviços de forro devido a pandemia da COVID-19; • Alerta para o atraso no processo de contratação de fornecedor de serviço de piso; • Análise das restrições.
01/07/2021	Não houve reunião			
08/07/2021	30min	Engº de Planejamento; Engª de Planejamento da empresa X (convidada); Enc. de Estrutura de Aço e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • Alerta para baixa produtividade do fornecedor dos serviços de alvenaria e revestimento; • Análise das restrições.
15/07/2021	30min	Engº de Planejamento; Enc. de Alvenarias; Enc. de Estrutura de Aço e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • Discussão sobre as datas programadas com o novo fornecedor de serviços de alvenaria; • Análise das restrições.
22/07/2021	30min	Engº de Planejamento; Engª de Planejamento da empresa X (convidada); Enc. de Estrutura de Aço; Engº de Segurança e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • O piso epóxi saiu do escopo da empresa X e passou a ser de responsabilidade do cliente; • Análise das restrições.

Quadro 3: Acompanhamento das reuniões de planejamento de médio prazo

Data	Duração	Participantes	Pauta	Assunto tratado / Observação
29/07/2021	30min	Engº de Planejamento; Enc. de Estrutura de Aço e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • O prazo de conclusão da obra para julho de 2021 não foi atingido. O plano de ação foi estendido por mais dois meses, e um novo prazo foi estabelecido para setembro de 2021; • A pesquisadora elaborou um <i>Pull Planning</i> no formato digital com as novas datas e disponibilizou para a equipe da obra; • O fornecedor do serviço de estrutura de aço aumentou a quantidade de mão de obra para atender ao prazo estabelecido pela empresa X; • Análise das restrições.
05/08/2021	Não houve reunião			
12/08/2021				
19/08/2021	30min	Engº de Planejamento; Engª de Planejamento da empresa X (convidada); Enc. de Estrutura de Aço; Engº de Segurança e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • Análise das restrições.
26/08/2021		Engº de Planejamento; Enc. de Estrutura de Aço e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise e ajuste das datas do plano de ação; • A pesquisadora atualizou as datas do <i>Pull Planning</i> digital e disponibilizou para a equipe da obra; • A pintura saiu do escopo da empresa X; • Análise das restrições.
02/09/2021	Não houve reunião			
09/09/2021	20min	Engº de Planejamento e Pesquisadora.	Plano de Ação	<ul style="list-style-type: none"> • Análise dos serviços que foram realizados e dos que faltavam executar; • Análise das restrições.
16/09/2021	Não houve reunião			
23/09/2021				
30/09/2021				

(conclusão)

Fonte: Elaborado pela autora

Como mostra o Quadro 3, geralmente participavam das reuniões de planejamento de médio prazo o engenheiro de contrato da obra, a engenheira de produção, o engenheiro de planejamento, o engenheiro de segurança, os encarregados dos principais serviços que estavam sendo executado no período e a pesquisadora. No entanto, alguns fornecedores de serviços não participavam das reuniões, como era o caso do encarregado dos serviços de alvenaria e revestimento, o que dificultava o planejamento de metas assertivas para esses serviços.

No período referente aos meses de março, abril e maio de 2021, a pesquisadora não realizou o acompanhamento da obra através das reuniões de planejamento de médio prazo, devido ao fato de que as reuniões não estavam sendo realizadas pela equipe da obra. Segundo o engenheiro de planejamento, nesse período, a dinâmica da produção estava muito acelerada e concentrada na montagem dos elementos pré-fabricados de concreto e a equipe da obra se concentrou em realizar as reuniões diárias (*check-in e check-out*) para se obter um acompanhamento da programação semanal com os responsáveis pelas equipes de produção (encarregados dos fornecedores subcontratados e dos funcionários próprios).

Nesse período, o engenheiro de planejamento não conseguiu fazer a conexão da mestranda nas reuniões diárias e pesquisadora acompanhou a obra através de fotos que foram enviadas pelo engenheiro de planejamento e por meio de mensagens enviadas pelo mesmo para mestranda via celular, nas quais o engenheiro relatava sobre as atividades que estavam sendo realizadas na obra.

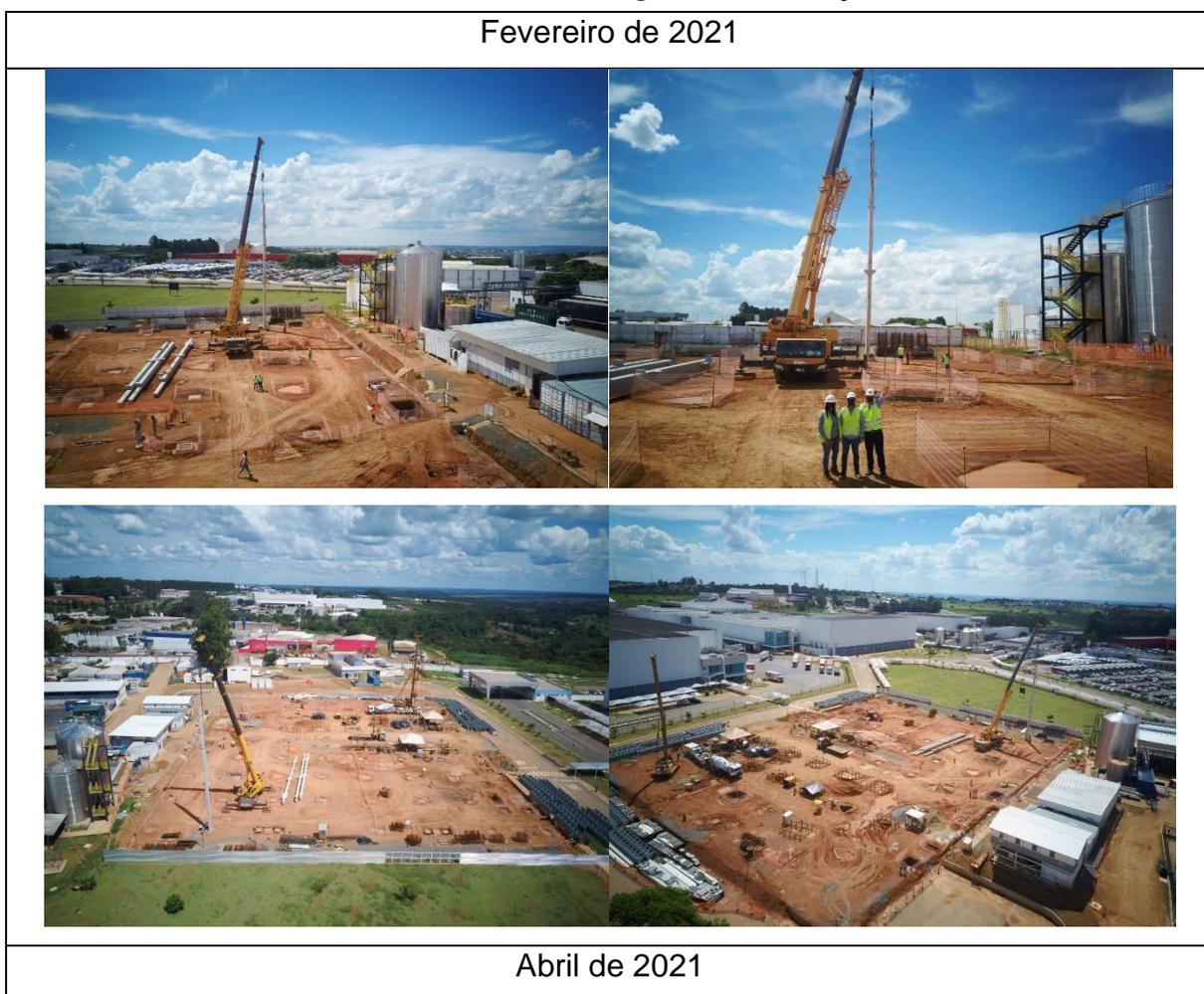
No mês de junho de 2021 a equipe da obra retomou as reuniões de planejamento de médio prazo, que passaram a tratar do plano de ação para término da obra, e a pesquisadora retomou o acompanhamento. Porém, como pode ser visto no Quadro 3, entre os meses de junho e setembro, houve oito (8) semanas em que a obra não realizou a reunião por motivos diversos, tais como: ausência do engenheiro de planejamento ou dos encarregados das empresas subcontratadas no canteiro de obra e por causa da dinâmica acelerada dos serviços que estavam sendo executados no período, os quais solicitavam a presença dos encarregados e engenheiros nos trabalhos de campo.

O plano de ação da obra estava prevendo o término das atividades no mês de setembro de 2021, no entanto, os serviços como: alvenarias, revestimento de parede, revestimento em ACM e as louças e metais; tiveram seus prazos estendidos até meados do mês de outubro. Nesse período, o engenheiro de planejamento se

concentrou em fazer o controle das atividades que foram mencionadas anteriormente, e na realização do fechamento das documentações de entrega de obra. Por isso, no mês de outubro não houve reunião para acompanhamento do plano de ação e o acompanhamento dos últimos serviços realizados foi feito através de mensagens via celular e por e-mail.

Ainda na fase de acompanhamento do planejamento da obra, o engenheiro de planejamento realizou o envio de fotos do empreendimento para a pesquisadora. As fotos recebidas correspondem aos seguintes meses do ano de 2021: fevereiro, abril, julho, setembro e outubro, conforme mostra o Quadro 4.

Quadro 4: Relatório fotográfico de evolução da obra



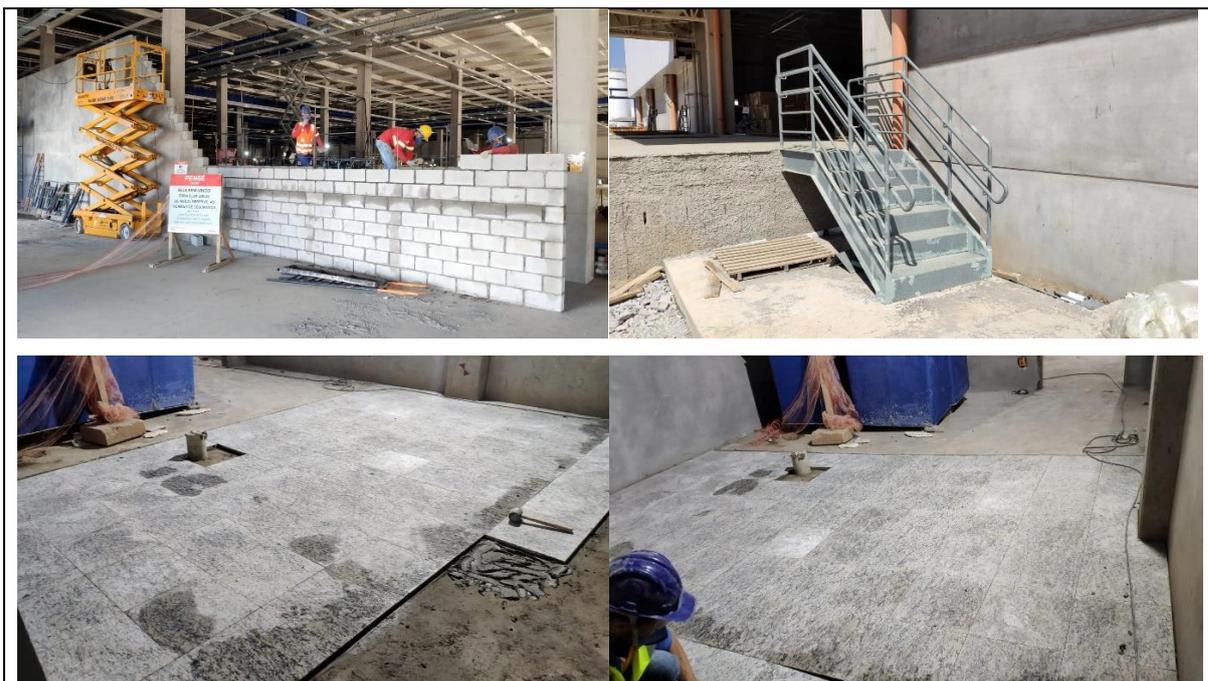


Julho de 2021



Setembro de 2021





Outubro de 2021



Fonte: Acervo da obra

De acordo com o Quadro 4, as fotos enviadas à pesquisadora nos meses de fevereiro e abril de 2021 revelaram a execução da montagem da estrutura pré-fabricada de concreto. Enquanto no mês de julho de 2021 as fotos revelaram a execução da montagem dos elementos metálicos (estrutura de cobertura e forro). Já as fotos do mês de setembro de 2021 mostraram a montagem do fechamento lateral da

edificação com os painéis isotérmicos PIR, bem como a execução dos serviços de alvenaria, piso e acabamentos de escadas. E, no mês de outubro de 2021 foram enviadas as fotos que apresentavam a execução dos serviços de painéis ACM, revestimento cerâmico, e calçadas.

De tudo que foi mencionado nesse capítulo, pode-se perceber que o modelo de gestão implantado pela empresa X apresentava oportunidades de melhorias, no quesito de estruturação do PSP, onde a pesquisadora conseguiu participar sugerindo ferramentas para serem aplicadas. Também foram sugeridas melhorias no nível de planejamento de médio prazo, uma vez que a falta de continuidade das rotinas de realização das reuniões era um fator que prejudicava a confiabilidade dos planos traçados para cumprimento das metas almejadas. O capítulo a seguir apresentará as análises e discussões dos resultados obtidos nesse estudo.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos durante o estudo de caso, e é apresentada a análise do Sistema *Last Planner* de planejamento e controle da produção da obra com base no acompanhamento das reuniões de planejamento de médio prazo, os indicadores de gestão da produção obtidos a partir da ferramenta linha de balanço, bem como os indicadores de gestão da produção resultante do Sistema *Last Planner* do empreendimento.

5.1 ANÁLISE DA GESTÃO DA PRODUÇÃO A PARTIR DO ACOMPANHAMENTO DAS REUNIÕES DE PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

O modelo de planejamento existente na obra previa reuniões mensais (as reuniões mensais eram chamadas de reunião de desempenho), nelas o gerente de contrato da obra apresentava para a diretoria a evolução mensal da obra e os indicadores de planejamento, qualidade, custo e segurança do trabalho. Havia também as reuniões semanais: às terças-feiras, para tratar do planejamento semanal; e às quintas-feiras, para discutir sobre o plano de médio prazo e acompanhar a remoção de restrições. Outras eram as reuniões diárias, chamadas de *check-in* e *check-out*, com o objetivo de fazer o acompanhamento das metas do planejamento semanal com a participação dos responsáveis pelas equipes, sejam elas próprias da empresa X, ou subcontratadas, conforme pode ser visto na Figura 17, presente no capítulo 4 desse documento.

O plano de médio prazo realizado pela empresa X possuía horizonte de planejamento de seis (6) semanas, e, visto que o tempo da obra em estudo era curto e que os serviços de montagem dos elementos pré-fabricados eram considerados um gargalo dentro do processo. A equipe de planejamento decidiu fazer reuniões semanais com os fornecedores subcontratados que prestavam serviços para a empresa X. A empresa X entendeu que esse modelo de *lookahead*, no qual se realizam reuniões semanais com foco no cumprimento das metas e no gerenciamento das restrições, poderia ser importante dentro do processo de gerenciamento da obra, pois trazia uma atenção maior às restrições, possibilitando a recordação dos

responsáveis por removê-las, e por conseguinte, elevando as chances de se alcançar as metas propostas.

Conforme apresentado no item 4.3.2, a pesquisadora começou a participar das reuniões de médio prazo no mês de fevereiro de 2021, quando se iniciaram os serviços de montagem dos elementos pré-fabricados. No decorrer das reuniões semanais realizadas nos meses de fevereiro e março, foi possível perceber que a fábrica (1) de pré-moldado de concreto, apresentou muita dificuldade em cumprir a programação semanal. As primeiras cargas que chegaram no canteiro de obra não obedeciam à sequência construtiva imposta pelo planejamento do empreendimento. Além disso, o plano de cargas que deveria ser enviado aos engenheiros da obra às quartas-feiras de cada semana, para que pudesse ser discutido na reunião de *lookahead* que aconteciam às sextas-feiras, não estava sendo enviado com no prazo estabelecido de, no mínimo, três (3) dias antes da chegada das peças de concreto pré-moldado no canteiro de obra.

O não cumprimento do plano por parte da fábrica (1) ocasionou interferência no processo produtivo, pois, algumas cargas que traziam peças de concreto pré-moldado de etapas que não haviam sido planejadas para aquele momento, não tiveram as suas entradas permitidas no canteiro da obra por decisão do gerente de contrato da obra, como forma de atender à um pedido do cliente, no qual solicitava que a estrutura do empreendimento fosse montada em etapas. Esse episódio comprometeu a continuidade dos serviços de entrega e montagem dos elementos pré-fabricados de concreto, ocasionando desperdício de espera, o qual provavelmente refletiu no aumento dos custos para a empresa X, ao se considerar o valor da hora parada do equipamento de montagem das peças pré-fabricadas de concreto, o qual era alugado e ficava parado sempre que havia atraso na entrega das peças pré-fabricadas de concreto. As peças pré-fabricadas de concreto produzidas na fábrica (2), também não atenderam aos prazos acordados, uma vez que a fábrica (2) era subcontratada da fábrica (1), a esta era responsável pelo fornecimento das peças pré-fabricadas de concreto ao canteiro de obra.

Diante desse problema de logística, a empresa X se reuniu com os representantes da fábrica (1) para discutirem sobre a situação com o intuito de chegarem a uma solução para o gargalo existente. Durante a reunião, os gestores da fábrica (1) alegaram algumas dificuldades, as quais estavam prejudicando o processo logístico das peças, tais como: (a) a distância entre a fábrica (1) e o canteiro de

trezentos e setenta (370) km, que contribuía para que os caminhões saíssem da fábrica (1) e não chegassem no tempo estimado para montagem das peças, pois eventualmente acontecia de o caminhão quebrar, ou em outros casos os motoristas paravam para dormir, almoçar, jantar e descansar; (b) incapacidade das fábricas (1) e (2) em cumprir a sequência de montagem estabelecida pela empresa X sem que houvesse estoque na obra.

Ainda, notou-se a falta de comprometimento por parte das fábricas (1) e (2) com o cumprimento do planejamento de montagem das peças, considerando que o processo de produção das peças foi realizado de forma a entregar as cargas que favoreciam o faturamento das fábricas. Também se observou que as fábricas produziam as peças de modo a permitir o aproveitamento das formas e com isso otimizar os seus processos de produção, ao invés de planejar a fabricação das peças respeitando a sequência estabelecida pelos gestores da obra e acordada com a fábrica (1).

Considerando que a montagem dos pré-fabricados de concreto, realizada por profissionais pertencentes a fábrica (1), era o principal gargalo do processo produtivo, a empresa X permitiu que as fábricas (1) e (2) estocassem no canteiro o mínimo de peças possíveis. A empresa X impôs algumas condições de recebimento de cargas das fábricas que traziam peças pré-fabricadas, as quais foram acatadas pela fábrica (1), como pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5: Diretrizes para estoque de peças pré-fabricadas no canteiro de obra

Situação da carga de peças pré-fabricadas	Tempo de permanência no estoque (em dia)
Peças da Etapa programada	1
Peças de Etapa não programadas	3

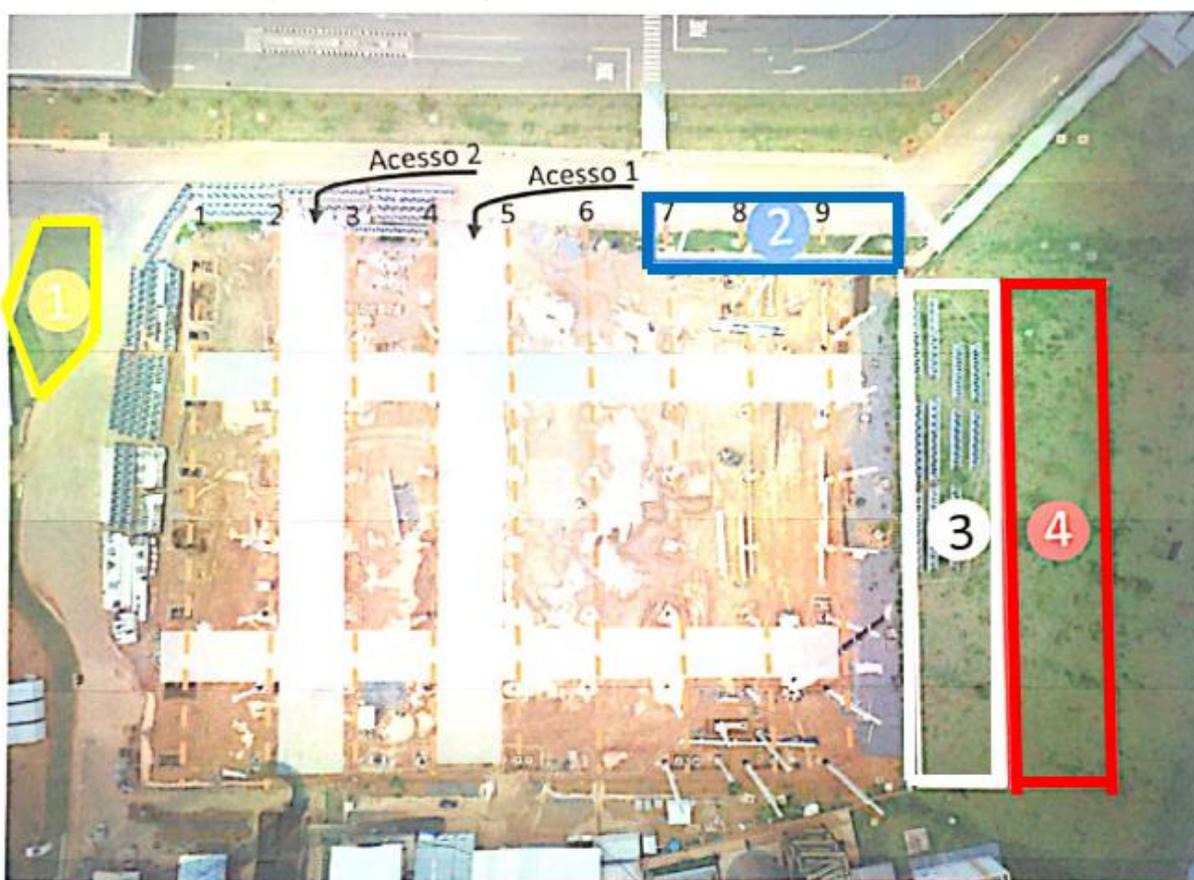
Fonte: Elaborado pela autora

Conforme o Quadro 5, os caminhões que chegassem trazendo peças da etapa programada poderiam descarregar e as peças passariam um dia estocadas no canteiro, enquanto as cargas que não traziam peças da etapa planejada para o momento, poderiam permanecer no estoque por um período de até três (3) dias. Além disso, a fábrica só poderia estocar no canteiro um número máximo de cinquenta (50) peças, e ao atingir esse limite, a obra só liberaria a entrada de mais peças no canteiro quando as peças existentes no estoque fossem montadas.

Ademais, a fábrica (1) deveria enviar para a obra o romaneio de carga advindas da fábrica (1) e (2) em um prazo de até quinze (15) horas de antecedência à chegada da carga na obra, para que a empresa X pudesse providenciar a liberação de entrada.

Para viabilizar o plano de ação acordado entre a fábrica (1) e a empresa X, a última disponibilizou em seu canteiro de obra diversas áreas para estoque das peças pré-fabricadas de concreto chamadas de: área 1 (destacada de amarelo), área 2 (destacada de azul), área 3 (destacada de branco) e área 4 (destacada de vermelho), como pode ser visto na Figura 45.

Figura 45: Delimitação de áreas para estoque no canteiro de obra



Fonte: Adaptado do acervo da obra

Nota-se que o posicionamento das áreas de estoque 2, 3 e 4 (lado direito da Figura 45) não favorecia a logística da sequência de montagem que foi estabelecida no sentido da direita para a esquerda, começando no eixo 9 até chegar no eixo 1. Sugeriu-se que facilitaria e minimizaria o deslocamento do equipamento de montagem das peças, se as áreas de estoque 2, 3 e 4 estivessem localizadas do lado esquerdo da Figura 45, juntamente com a área 1, já que a sequência de montagem das peças já estava estabelecida e firmada com o cliente. No entanto, do lado esquerdo não

havia espaço suficiente para comportar a quantidade de estoque acordada entre a obra e a fábrica (1), e a empresa X decidiu por seguir com o posicionamento das áreas de estoque conforme mostrado na Figura 45.

Ressaltou-se que a presença de estoque de peças pré-fabricadas de concreto no canteiro de obra não estava no planejamento da empresa X, porém diante da dificuldade de entrega apresentada pela fábrica (1), a empresa X entendeu que o estoque era necessário para evitar o aumento do atraso na etapa de montagem das peças pré-fabricadas de concreto.

Em contrapartida, o fornecedor dos pré-fabricados de concreto (fábrica (1)) se comprometeu a escalar três equipes de trabalho para acelerar os serviços de montagem das peças, de modo a recuperar o tempo perdido com os impasses ocorridos no processo logístico dos elementos pré-fabricados.

Por outro lado, a não realização das reuniões de planejamento de médio prazo entre os meses de março e maio de 2021, motivada pela dinâmica acelerada da obra, dificultou o acompanhamento do planejamento por parte da pesquisadora. Diante disso, entendeu-se novamente que a pandemia da COVID-19 foi um fator limitante nessa etapa do processo, pois exigiu que o acompanhamento fosse feito apenas de forma virtual, impossibilitando as visitas de campo.

Ainda na fase de acompanhamento, verificou-se que a obra não estava utilizando o recurso da LDB, elaborado para apoiar o planejamento e controle da produção. Sobre esse assunto, a equipe de planejamento relatou que tiveram dificuldades em convencer as equipes subcontratadas a seguirem com o planejamento da produção, respeitando as etapas de produção e o ritmo pré-estabelecido na LDB. Esse fato expressou a falta de comprometimento dos fornecedores de serviços com o planejamento dos processos produtivos do empreendimento.

Como tentativa de melhorar o processo de planejamento das atividades, a obra trabalhou com planos de ação, os quais se tratava de uma planilha em *MS Excel* que continha as atividades que seriam executadas até o término da obra e as datas em que essas atividades deveriam acontecer. Esses planos de ação eram discutidos nas quintas-feiras, na reunião de planejamento de médio prazo com as equipes que executavam os principais serviços do período em questão. Porém, notou-se uma baixa confiabilidade nas datas dispostas no plano de ação, visto que o ajuste das datas do plano era uma prática recorrente devido aos problemas que ocasionavam

atrasos na programação, tais como: baixa produtividade das equipes, falta de comprometimento dos fornecedores e atraso na entrega dos serviços.

Notou-se que não havia nenhum estudo de redimensionamento de recursos (mão de obra, equipamentos) para subsidiar a execução do plano de ação adotado pela empresa X para recuperação do atraso do cronograma da obra.

O plano de ação elaborado pela empresa X, que tinha como objetivo recuperar os prazos de atividades que estavam atrasadas, e, naturalmente, a execução da mesma quantidade de serviço com um prazo de duração menor, requeria um aumento dos recursos, seja em equipamentos; mão de obra; horas trabalhadas, e até mesmo de acomodações do canteiro de obra, tais como: ampliação de refeitório, banheiros e vestiários, em caso de pico de mão de obra. De tal modo, a falta de um redimensionamento desses recursos pode ter contribuído para o não cumprimento dos prazos do plano de ação.

Também não foi evidenciado nenhum alinhamento prévio com os fornecedores sobre a necessidade de cumprimento dos prazos estabelecidos no plano de ação adotado pela empresa X. Nesse quesito pode ter faltado transparência no processo e dificultado o entendimento e comprometimento dos responsáveis pelas equipes de produção, e, conforme visto no capítulo 2 desse documento, a transparência é um dos princípios fundamentais do *Lean Construction* que contribuem para a melhoria dos fluxos de trabalho.

5.2 INDICADORES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO OBTIDOS A PARTIR DA LINHA DE BALANÇO

Durante o estudo de caso, a pesquisadora realizou o controle dos prazos através de uma LDB elaborada com as durações nas quais as atividades foram executadas. A LDB-executada foi sobreposta com a LDB-planejada com o intuito de verificar a aderência do executado, a fim de se obter os indicadores de produção (aderência ao plano de ataque, comparação entre os tempos de duração planejados e os tempos de duração de execução da atividade, desvio de prazo e de duração, análise do trabalho em progresso, análise do paralelismo na execução da atividade e ocorrência da quebra da rede de precedência) que serão apresentados nos próximos itens desse documento.

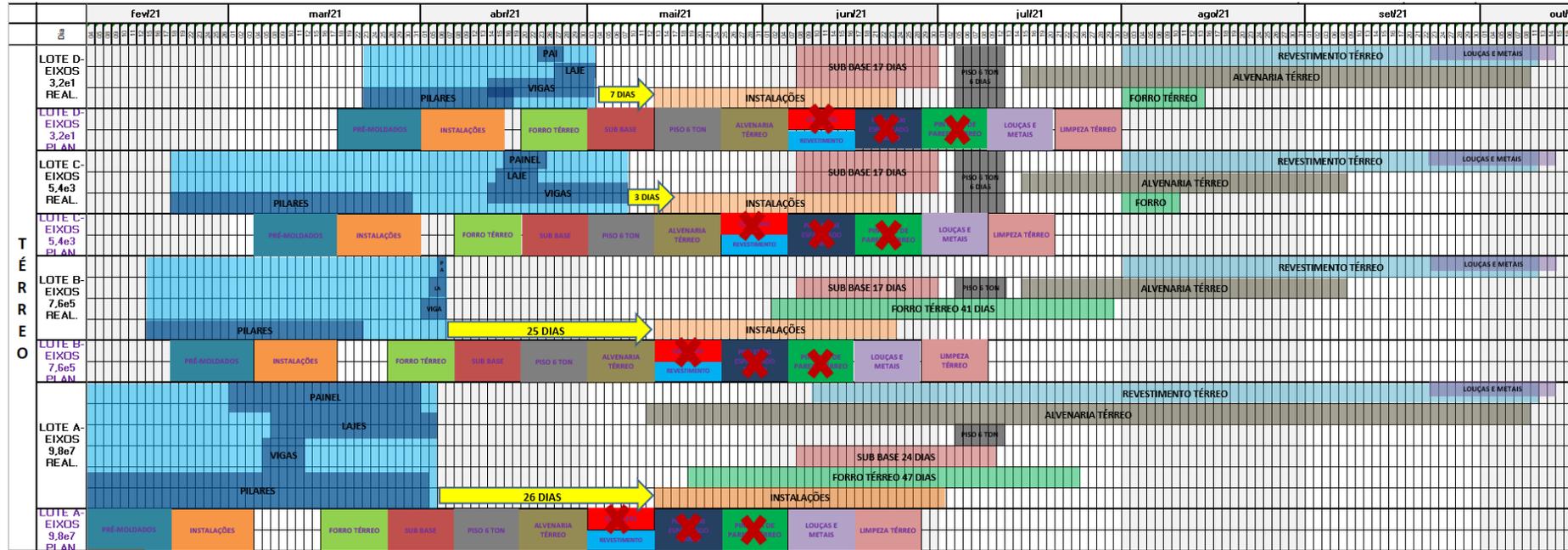
A Figura 46, Figura 47, Figura 48, e Figura 49 mostram a comparação entre a LDB dos serviços planejados e a LDB dos serviços executados. No eixo vertical estão os lotes de produção (fundação, pavimento térreo, 1º pavimento, cobertura e fachada) e as etapas construtivas (A, B, C e D). As etapas escritas com letras na cor roxo contém as atividades planejadas, as quais são representadas por retângulos com preenchimento sólido; já as etapas escritas na cor preto apresentam as atividades que foram executadas e que estão representadas por retângulos com preenchimento transparente. No eixo horizontal apresentam-se os dias úteis de cada mês, nos quais as atividades foram planejadas e realizadas.

A Figura 46 apresenta os prazos planejados (retângulos com o preenchimento sólido) e executados (retângulos com o preenchimento transparente) para as atividades do lote de fundação, nas etapas A, B, C e D. Já a Figura 47 está mostrando os prazos planejados e executados para os serviços do lote do pavimento térreo, nas etapas A, B, C e D. A Figura 48 descreve os prazos planejados e executados para os serviços do lote do 1º pavimento, nas etapas A, B, C e D. Enquanto a Figura 49 apresenta os prazos que foram previstos e o executado nos lotes de cobertura e fachada, nas etapas A, B, C e D.

As setas na cor amarelo estão marcando a quantidade de dias de trabalho em progresso que foi coletado na LDB dos serviços realizados. Além disso, os serviços que estão marcados com um “X” na cor vermelho foram retirados do escopo da empresa X, e passaram a fazer parte do escopo do cliente (Figura 47, Figura 48, e Figura 49). Os serviços marcados com um “X” são: pintura de parede; piso epóxi; caixilhos e cerâmica da fachada. Eles foram retirados do escopo da empresa X porque eram atividades que dependiam de serviços que faziam parte do escopo do cliente e que não haviam sido executados no momento. A decisão de comum acordo entre as partes era de que o mais coerente seria que os serviços citados passassem a fazer parte do escopo do cliente.

Com relação ao prazo de obra, percebeu-se através da LDB dos serviços realizados, que o empreendimento foi concluído em meados do mês de outubro de 2021.

Figura 47: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (Pav. Térreo)

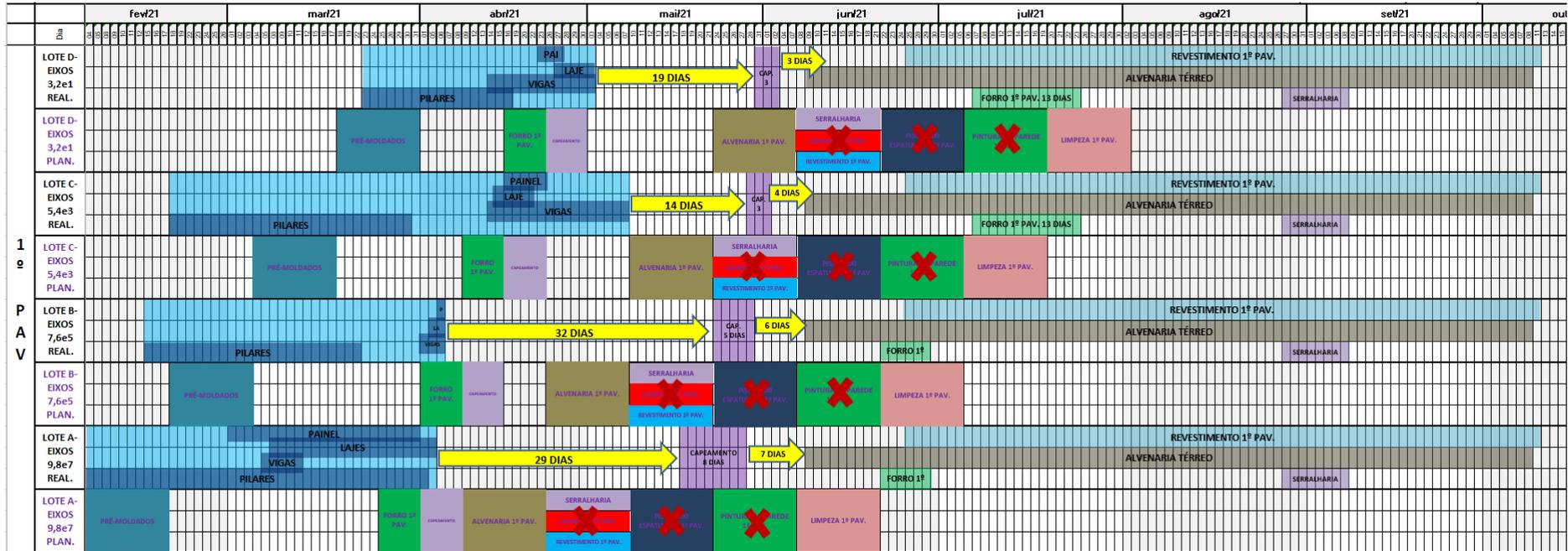


Legenda: Barra lateral esquerda: Nível: PAV. TÉRREO / ETAPAS A; B; C, e D escritas na cor roxo representam os prazos planejados para as atividades; ETAPAS A; B; C, e D escritas na cor preto representam o período em que foram executadas as atividades; Atividades marcadas com "x" vermelho foram retiradas do escopo.

- PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO
- ALVENARIA NÍVEL 1 e 2
- PINTURA PAREDE NÍVEL 1 e 2
- INSTALAÇÕES
- CAIXILHO NÍVEL 1 e 2
- LOUÇAS E METAIS
- FORRO NÍVEL 1
- REVESTIMENTO NÍVEL 1 e 2
- LIMPEZA NÍVEL 1 e 2 e COBERTA
- SUB BASE
- SERRALHERIA
- FORRO NÍVEL 2
- PISO 6 TON
- PINTURA EPÓXI NÍVEL 1 e 2

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 48: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (1º Pav.)

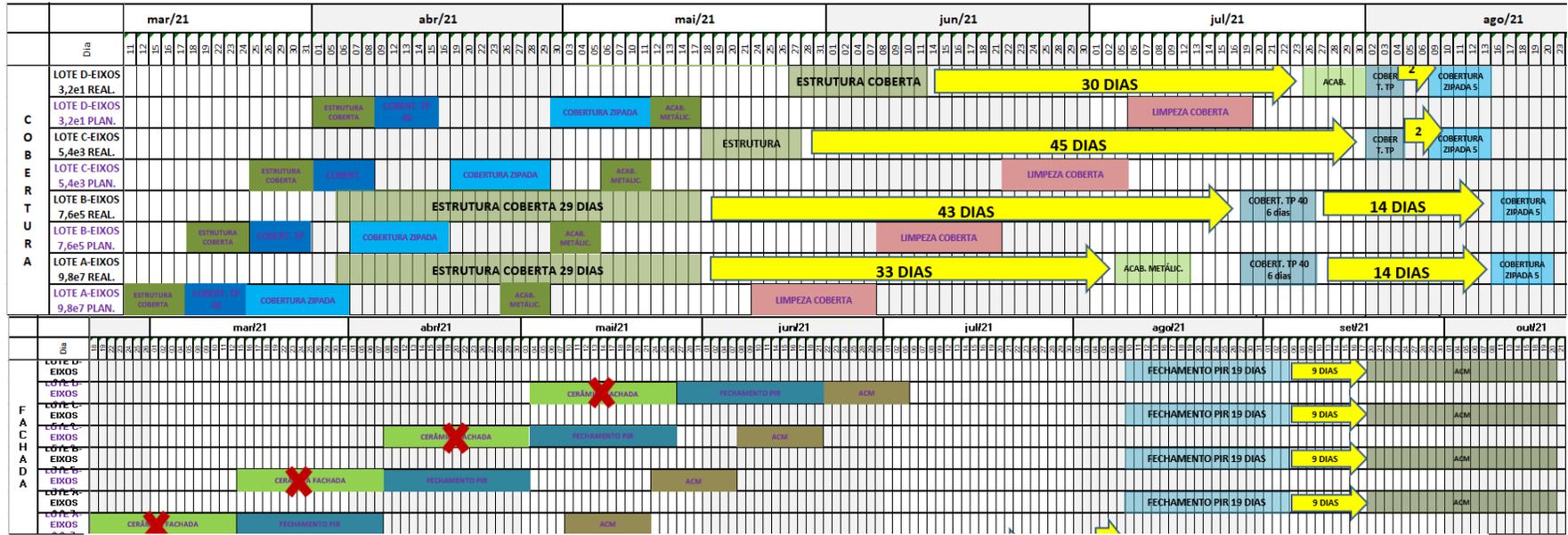


Legenda: Barra lateral esquerda: Nível: 1º PAV. / ETAPAS A; B; C, e D escritas na cor roxo representam os prazos planejados para as atividades; ETAPAS A; B; C, e D escritas na cor preto representam o período em que foram executadas as atividades; Atividades marcadas com "x" vermelho foram retiradas do escopo.

9	PRÉ-FABRICADO DE CONCRETO	12	ALVENARIA NÍVEL 1 e 2	15	SERRALHERIA	17	LOUÇAS E METAIS
10	CAPEAMENTO	13	CAIXILHO NÍVEL 1 e 2	16	PINTURA EPÓXI NÍVEL 1 e 2	17	LIMPEZA NÍVEL 1 e 2 e COBERTA
11	REVESTIMENTO NÍVEL 1 e 2	14	REVESTIMENTO NÍVEL 1 e 2	17	PINTURA PAREDE NÍVEL 1 e 2		FORRO NÍVEL 2

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 49: LDB executada sobreposta a LDB - planejada (Cobertura e Fachada)



Legenda: Barra lateral esquerda: Níveis: COBERTURA e FACHADA / ETAPAS A; B; C, e D escritas na roxo preto representam os prazos planejados para as atividades; ETAPAS A; B; C, e D escritas na cor preto representam o período em que foram executadas as atividades; Atividades marcadas com "x" vermelho foram retiradas do escopo.

- ACABAMENTOS METÁLICA
- CERÂMICA DA FACHADA
- FECHAMENTO PIR
- ACM
- ESTRUTURA DE COBERTA
- COBERTURA TP 40
- COBERTURA ZIPADA

Fonte: Elaborado pela autora

atividades que aderiram ao plano de ataque. O mesmo cálculo foi feito para as atividades com “Não”, conforme a Equação 1 e a Equação 2 apresentadas no capítulo 3 desse documento.

O resultado da análise feita pode ser visto no Quadro 6.

Quadro 6: Aderência das equipes de trabalho à etapa planejada

Item	Lote	Atividade	Aderiu ao plano de ataque (Sim / Não)
1	Fundação	Estaca Hélice contínua DN 60	Sim
2		Estaca Hélice contínua DN 40	Sim
3		Bloco de Fundação	Não
4	Térreo	Pré-moldados - Pilares	Não
5		Pré-moldados - Vigas	Não
6		Pré-moldados - Lajes	Sim
7		Pré-moldados - Painéis	Sim
8		Instalações	Não
9		Forro - Térreo	Não
10		Sub base	Não
11		Piso 6 ton	Não
12		Alvenaria	Não
13		Revestimento	Não
14		Louças e Metais	Não
15	1º Pavimento	Caapeamento - 1º PAV.	Sim
16		Forro - 1º PAV.	Não
17		Alvenaria	Não
18		Revestimento	Não
19	Coberta	Estrutura coberta	Não
20		Coberta TP 40	Não
21		Coberta Zipada	Não
22	Fachada	Fechamento PIR	Não
23		ACM	Não
Percentual de atividades que não aderiram ao plano de ataque			$[(18/23) \times 100] = 78\%$
Percentual de atividades que aderiram ao plano de ataque			$[(5/23) \times 100] = 22\%$

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme visto no Quadro 6, foram analisadas vinte e três (23) atividades, as quais estavam distribuídas nos cinco (5) lotes de produção (fundação, térreo, 1º pavimento, coberta e fachada), sendo que cada uma das quatro (4) etapas (A, B, C e D) abrangem os cinco (5) lotes de produção. Das vinte e três (23) atividades verificadas, dezoito (18) não aderiram o plano de ataque, que corresponde a um

percentual de 78%, e cinco (5) atividades aderiram às etapas estabelecidas, o que apresenta um percentual de 22%.

Ao final do estudo de caso, foi aplicado um questionário de avaliação do estudo com o engenheiro de planejamento da obra, o qual teve caráter qualitativo e está disposto no Apêndice 2. No questionário, a pesquisadora perguntou ao engenheiro quais os motivos que teriam contribuído para a não aderência ao plano de ataque pré-estabelecidos no planejamento executivo da obra. Em resposta, o engenheiro mencionou a falta de comprometimento dos fornecedores subcontratados em obedecerem ao planejamento executivo, e cita como exemplo o fornecedor de pré-fabricados de concreto, o qual optou por produzir todas as peças que permitissem o uso repetido de uma mesma fôrma, de modo a otimizar o tempo de produção, porém, não se preocupou com o espaço limitado do canteiro de obra nem com a sequência de montagem definida pela empresa X.

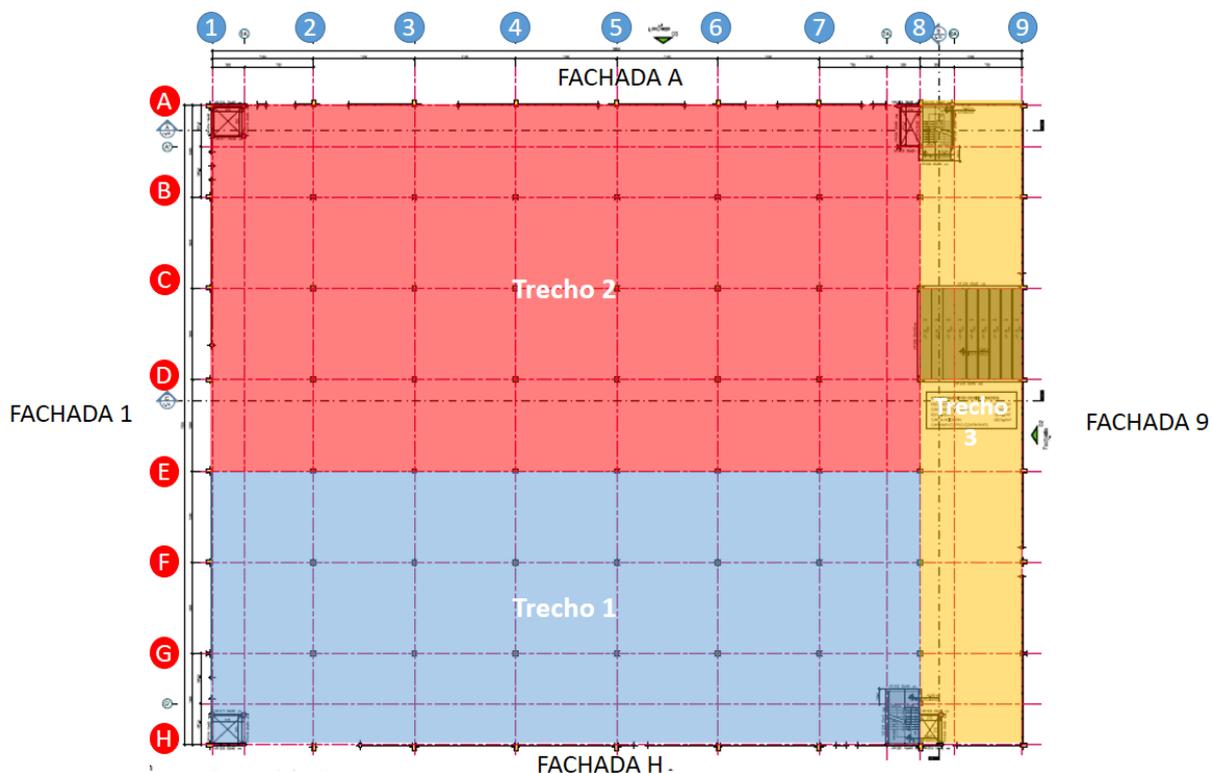
A pesquisadora observou que o fornecedor dos pré-fabricados de concreto participou das etapas de planejamento da obra, porém não atendeu ao plano acordado. No entanto, para os demais fornecedores, a pesquisadora não identificou evidências que mostrassem a participação destes no processo de planejamento do sistema produtivo, o que indica que a colaboração e envolvimento dos fornecedores no processo de planejamento é um ponto a ser melhorado dentro do sistema de gerenciamento da empresa X.

O engenheiro de planejamento também justificou a baixa aderência das equipes de trabalho às etapas planejadas, pelo fato de que as equipes não finalizavam os serviços nos prazos solicitados, dificultando o processo de programação de atividades de modo sequencial.

Ainda, houve serviços em que a sequência construtiva foi modificada pelos gestores para facilitar a execução do mesmo. Um exemplo disso foi a execução dos serviços de sub-base de piso, em que se optou por fazer por trecho, de modo a disponibilizar uma área de trabalho maior para o equipamento motoniveladora ou “patrol” e permitir o raio de giro da máquina. Outro fator que culminou na mudança da sequência construtiva foi a realização dos serviços de instalações, o qual foi executado de forma paralela em todas as etapas, ou seja, sem aderir ao plano de ataque, e com um ritmo lento. Os serviços de instalações foram atividades predecessoras das atividades de sub-base, de modo que impactou diretamente o planejamento dos serviços de sub-base. Para as atividades de sub-base, foram

definidas as seguintes etapas construtivas: trecho 1, 2, e 3, iniciando no trecho 1 e seguindo até o trecho 3, como pode ser visto na Figura 51.

Figura 51: Etapas construtivas do serviço de sub-base



Fonte: Adaptado do acervo da obra

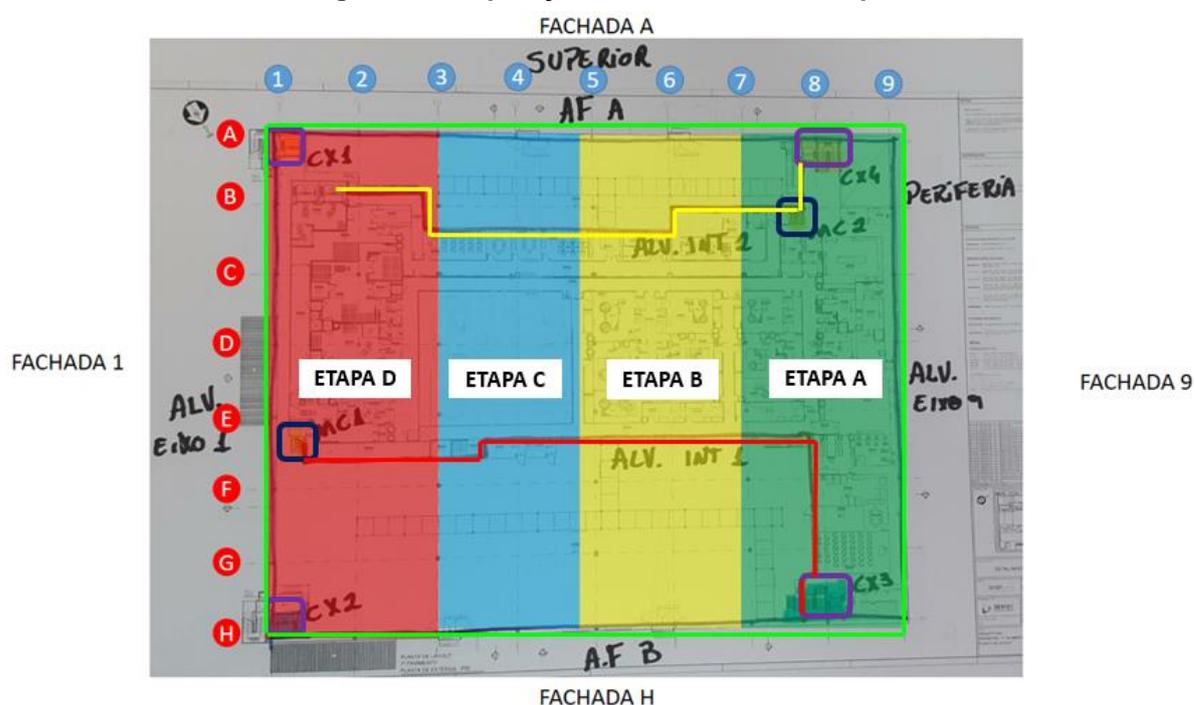
Os serviços de fechamento lateral em fachadas também não foram executados obedecendo às etapas A, B, C e D, mas foram feitos por trecho lateral chamados de: fachada 9, 1, A e H, como pode ser visto na Figura 51. Primeiro foi executada a fachada H, seguida pela 9, e por último as fachadas 1 e A que foram executadas simultaneamente, para que fosse cumprida a meta dentro do prazo estabelecido pelos gestores.

Já os serviços de alvenaria e revestimentos foram executados por tipo de estrutura e localização. Os serviços foram divididos em: alvenaria de caixa de elevador, alvenaria de monta cargas, alvenaria interna e alvenaria de fachada. No 1º pavimento as frentes de serviços de alvenaria e revestimentos foram definidas da seguinte maneira: alvenaria de caixas de elevador 1, 2, 3 e 4 (Cx1, Cx2, Cx3, Cx4), destacados por retângulos de cor roxo na Figura 52; Alvenaria de monta carga 1, e 2 (MC1 e MC2), em destaque por retângulos azuis; alvenaria interna 1 destacada com contorno vermelho na Figura 52, alvenaria interna 2 em destaque com contorno

amarelo; alvenaria de fachada A, B, 1 e 9, destacadas com linhas verdes, conforme apresentado na Figura 52.

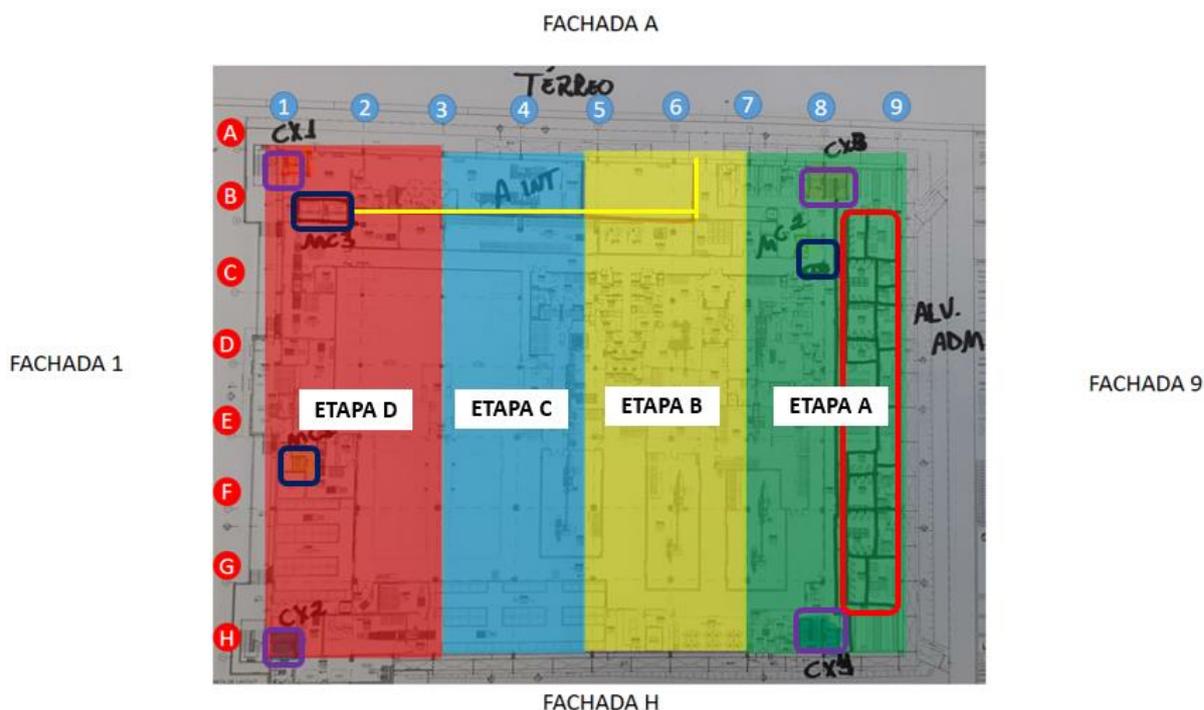
Enquanto no pavimento térreo, a divisão das frentes de alvenaria e revestimento foi feita dessa forma: alvenaria de caixa de elevador 1, 2, 3 e 4 (Cx1, Cx2, Cx3, Cx4) destacado na pelos retângulos roxo; alvenaria de monta carga 1, 2 e 3 (MC1, MC2, MC3), destacado Figura 53 pelos retângulos azuis, alvenaria interna representada pelos traços em amarelo e alvenaria ADM representada pela área contornada pelo retângulo vermelho, como pode ser observado na Figura 53.

Figura 52: Disposição das alvenarias do 1º pavimento



Fonte: Adaptado do acervo da obra

Figura 53: Disposição das alvenarias do pavimento térreo



Fonte: Adaptado do acervo da obra

Os gestores da obra acreditavam que, para os serviços citados anteriormente: sub-base, fechamento lateral, alvenarias e revestimentos a estratégia de execução adotada era a mais vantajosa, levando em consideração as técnicas de execução que esses serviços solicitavam, a baixa produtividade das equipes de trabalho, bem como a falta de comprometimento por parte das empresas subcontratadas.

Percebeu-se que a realização de um estudo mais aprofundado voltado à elaboração do PSP do empreendimento, e anteriormente à etapa de mobilização da obra, poderia ter subsidiado a tomada de decisão pelo melhor cenário de estratégia de execução, considerando as particularidades do projeto da edificação, e poderia ter permitido a elaboração de planos mais assertivos.

5.2.2 Comparação entre os tempos de duração planejados e os tempos de duração executados nas atividades

Através da comparação entre a LDB construída utilizando os prazos nos quais os serviços foram executados dentro do processo de produção, com a LDB feita com os prazos planejados, foi possível analisar a diferença entre os tempos de ciclo

estimados para realização dos serviços e os tempos de ciclos nos quais os serviços foram executados, como pode ser visto no Quadro 7 e no gráfico da Figura 54.

Os dados dispostos no Quadro 7 e o gráfico da Figura 54, consistem na relação entre os tempos de ciclo planejado e os tempos de ciclo do executado para cada serviço dentro de cada etapa de execução. Foram analisadas as informações coletadas de dezoito (18) atividades do processo de produção.

Quadro 7: Desvios de prazo e duração das atividades

(continua)

Atividade	Etapa	Tempo em dias (Planejado)	Tempo em dias (Executado)	Desvio de Duração	Desvio de Prazo
Bloco de Fundação	A	10	10	0	0
	B	10	7	-3	-5
	C	10	35	25	-10
	D	10	51	41	0
Pré-moldados - Térreo e 1º PAV.	A	10	42	32	0
	B	10	36	26	-3
	C	10	55	45	-10
	D	10	28	18	3
Capeamento - 1º PAV.	A	5	8	3	31
	B	5	5	0	30
	C	5	3	-2	29
	D	5	3	-2	25
Forro - Térreo	A	5	47	42	44
	B	5	41	36	46
	C	5	7	2	61
	D	5	10	5	56
Forro - 1º PAV.	A	8	5	-3	60
	B	8	5	-3	55
	C	8	13	5	61
	D	8	13	5	56
Sub-base - Térreo	A	8	24	16	49
	B	8	17	9	41
	C	8	17	9	33
	D	8	17	9	25
Piso 6 ton	A	8	6	-2	60
	B	8	6	-2	52
	C	8	6	-2	44
	D	8	6	-2	36
Estrutura coberta	A	5	29	24	17
	B	5	29	24	12
	C	5	8	3	36
	D	5	11	6	38
Coberta TP 40	A	5	6	1	84
	B	5	6	1	79
	C	5	3	-2	84
	D	5	3	-2	79

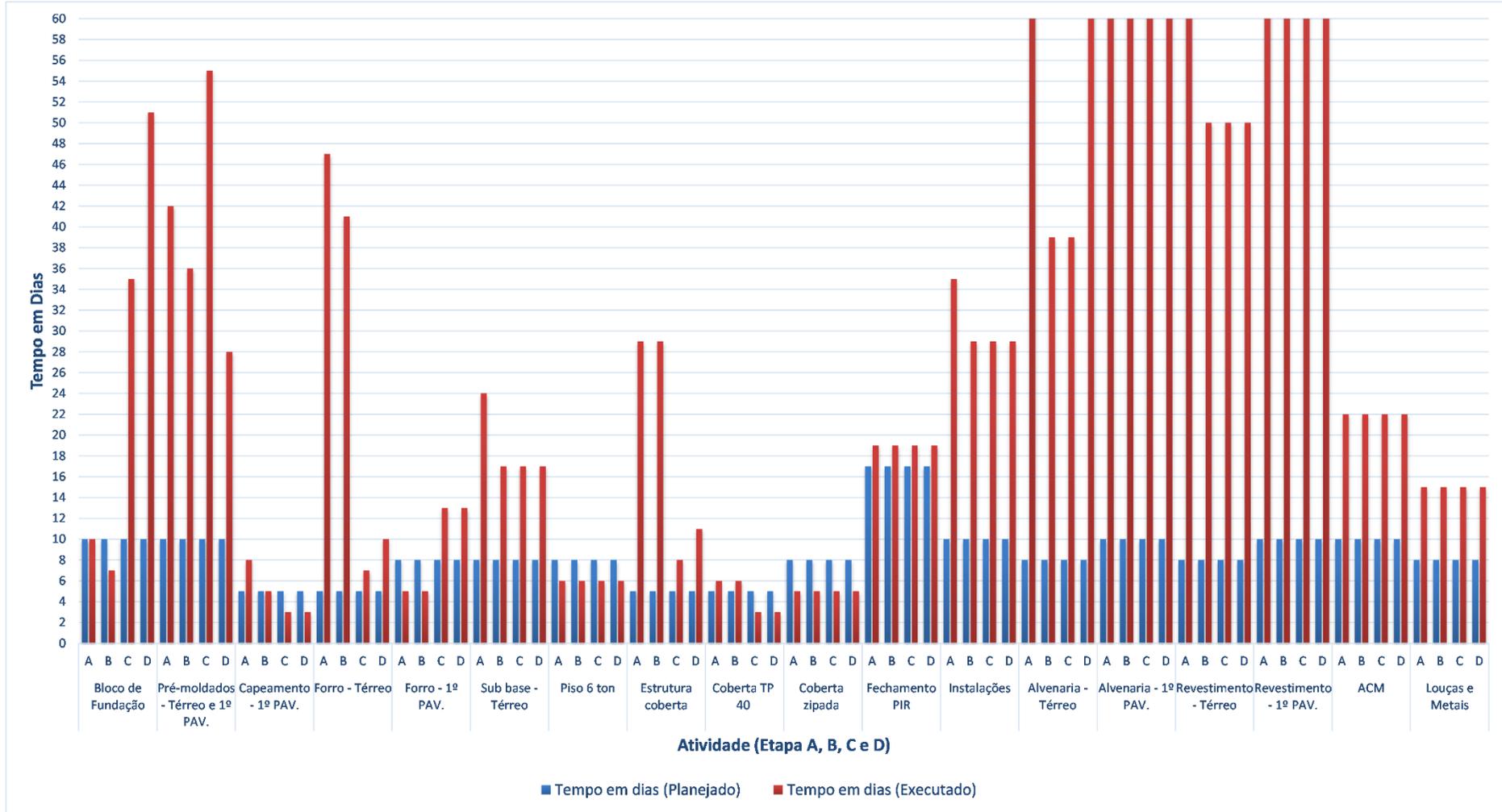
Atividade	Etapa	Tempo em dias (Planejado)	Tempo em dias (Executado)	Desvio de Duração	Desvio de Prazo
Coberta zipada	A	8	5	-3	99
	B	8	5	-3	91
	C	8	5	-3	78
	D	8	5	-3	70
Fechamento PIR	A	17	19	2	103
	B	17	19	2	86
	C	17	19	2	69
	D	17	19	2	52
Instalações	A	10	35	25	58
	B	10	29	19	48
	C	10	29	19	38
	D	10	29	19	28
Alvenaria - Térreo	A	8	106	98	15
	B	8	39	31	52
	C	8	39	31	44
	D	8	61	53	36
Alvenaria - 1º PAV.	A	10	87	77	41
	B	10	87	77	31
	C	10	87	77	21
	D	10	87	77	11
Revestimento - Térreo	A	8	87	79	27
	B	8	50	42	56
	C	8	50	42	48
	D	8	50	42	39
Revestimento - 1º PAV.	A	10	76	66	43
	B	10	76	66	33
	C	10	76	66	23
	D	10	76	66	13
Fechamento em ACM	A	10	22	12	93
	B	10	22	12	83
	C	10	22	12	73
	D	10	22	12	63
Louças e Metais	A	8	15	7	77
	B	8	15	7	69
	C	8	15	7	61
	D	8	15	7	53

(conclusão)

Fonte: Elaborado pela autora

O eixo vertical do gráfico da Figura 54 apresenta a escala de tempo em dias que corresponde a duração de cada serviço, enquanto o eixo horizontal mostra as atividades do processo produtivo em cada uma das quatro (4) etapas construtivas. As barras azuis do gráfico representam o tempo em dias planejado para as atividades, enquanto as barras vermelhas representam o tempo em que as atividades foram executadas.

Figura 54: Gráfico do tempo planejado x executado



Fonte: Elaborado pela autora

Conforme apresentado no gráfico da Figura 54, percebeu-se uma diferença expressiva entre o tempo de ciclo no qual as atividades foram planejadas (representadas no gráfico com a cor azul) e o tempo em que as atividades foram executadas (representadas no gráfico com a cor vermelha). Destacou-se o serviço de pré-moldados de concreto, nos quais o tempo de execução planejado foi de dez (10) dias para cada etapa construtiva, no entanto, o tempo médio de execução da atividade em cada etapa foi de quarenta (40) dias.

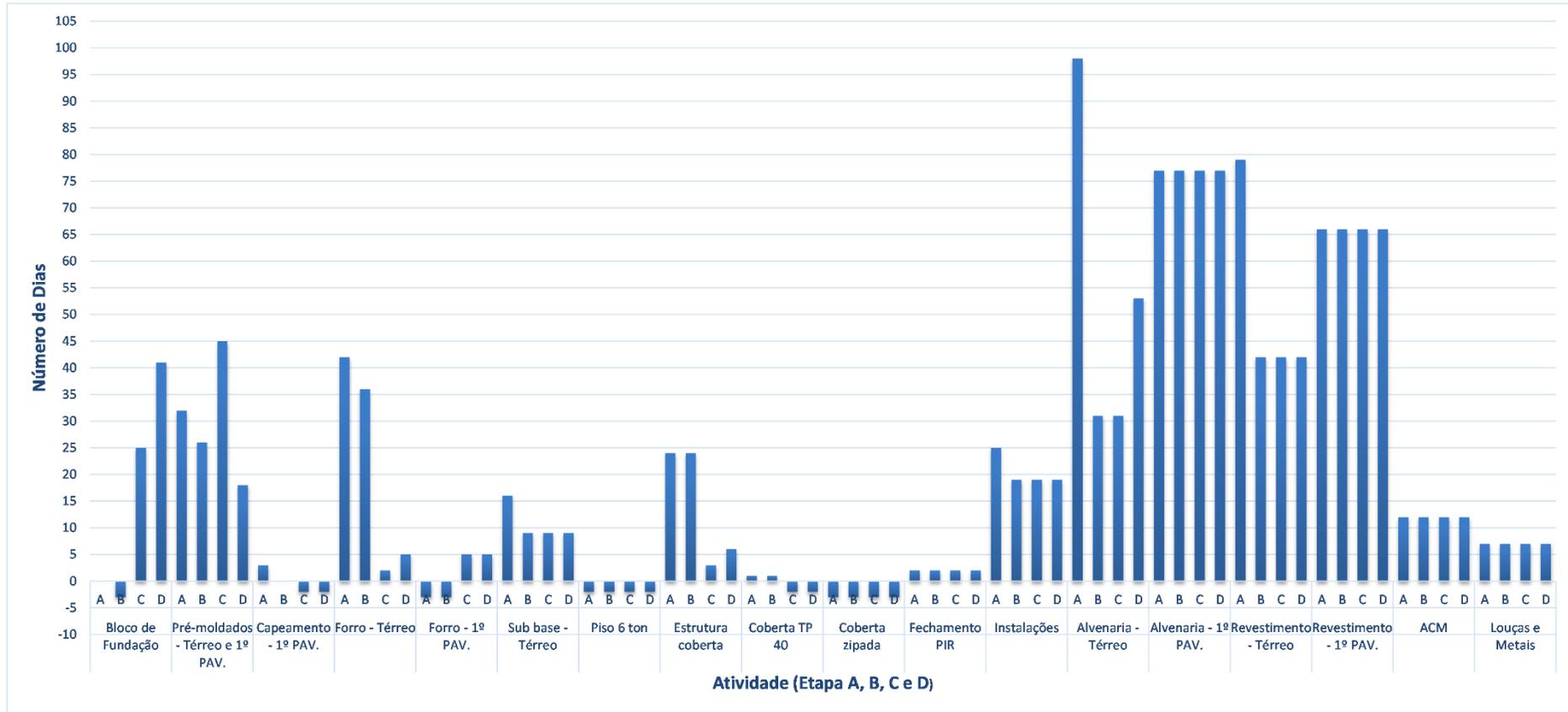
De forma análoga, se encontraram os serviços de alvenaria e revestimento, os quais tinham sido planejados para acontecerem em um período de dez (10) dias em cada etapa construtiva, sendo que no lote do 1º pavimento, as atividades citadas foram executadas em um tempo médio de oitenta e seis (86) dias para as alvenarias, e setenta e seis (76) dias para o revestimento em cada etapa.

5.2.3 Desvio de duração e desvio de prazo

Ao se analisar os prazos planejados para execução dos serviços e os prazos nos quais as atividades foram de fato realizadas, tornou-se possível a obtenção do indicador de desvio de duração. Este indicador consiste no resultado da diferença entre a quantidade de dias planejado para a atividade em cada etapa e a quantidade de dias que foi gasto para se executar a atividade em cada etapa construtiva, os desvios foram calculados conforme a Equação 3, descrita no capítulo 3, e o resultado pode ser visto no Quadro 7.

Os desvios com valores negativos significam o número de dias que o serviço terminou antes do prazo programado, e os valores de desvios positivos indicam a quantidade de dias de atraso da tarefa. O desvio de duração também pode ser visto no gráfico da Figura 55. O eixo vertical do gráfico da Figura 55 mostra a escala de números de dias correspondente ao desvio de duração, enquanto o eixo horizontal apresenta as atividades do processo produtivo em cada uma das quatro (4) etapas construtivas.

Figura 55: Gráfico do desvio de duração



Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o gráfico da Figura 55 , os serviços que apresentaram maiores desvios de duração foram: os pré-moldados de concreto que obteve um desvio de duração médio de trinta (30) dias em cada etapa construtiva, o que representou um aumento percentual na quantidade de dias de duração de 300%; as alvenarias do pavimento térreo que apresentou um desvio de duração médio de cinquenta (50) dias em cada etapa, representando um aumento percentual no número de dias de duração de 625%; as alvenarias do 1º pavimento que teve um desvio de duração médio de setenta e sete (77) dias, o que representou um aumento percentual na quantidade de dias de duração de 770%; e os serviços de revestimento nos pavimentos térreo e 1º, os quais obtiveram desvios de duração em cada etapa construtiva de cinquenta e um (51) dias e sessenta e seis (66) dias, respectivamente, o que indicou um aumento percentual no número de dias de duração de 641% para o pavimento térreo e 660% para o 1º pavimento.

De um total de dezoito (18) atividades verificadas, apenas duas, obtiveram desvio de duração igual a zero (0), ou seja, não apresentaram desvios de duração, foram elas: bloco de fundação na etapa A e capeamento na etapa B (linhas destacadas com a cor verde no Quadro 7 mostrado no item 5.2.2). Ainda, das dezoito (18) atividades analisadas apenas seis (6) foram concluídas antes do prazo em pelo menos uma das quatro (4) etapas construtivas, e apresentaram valores de desvio de duração negativo de no máximo três (3) dias (linhas em destaque com a cor azul no Quadro 7).

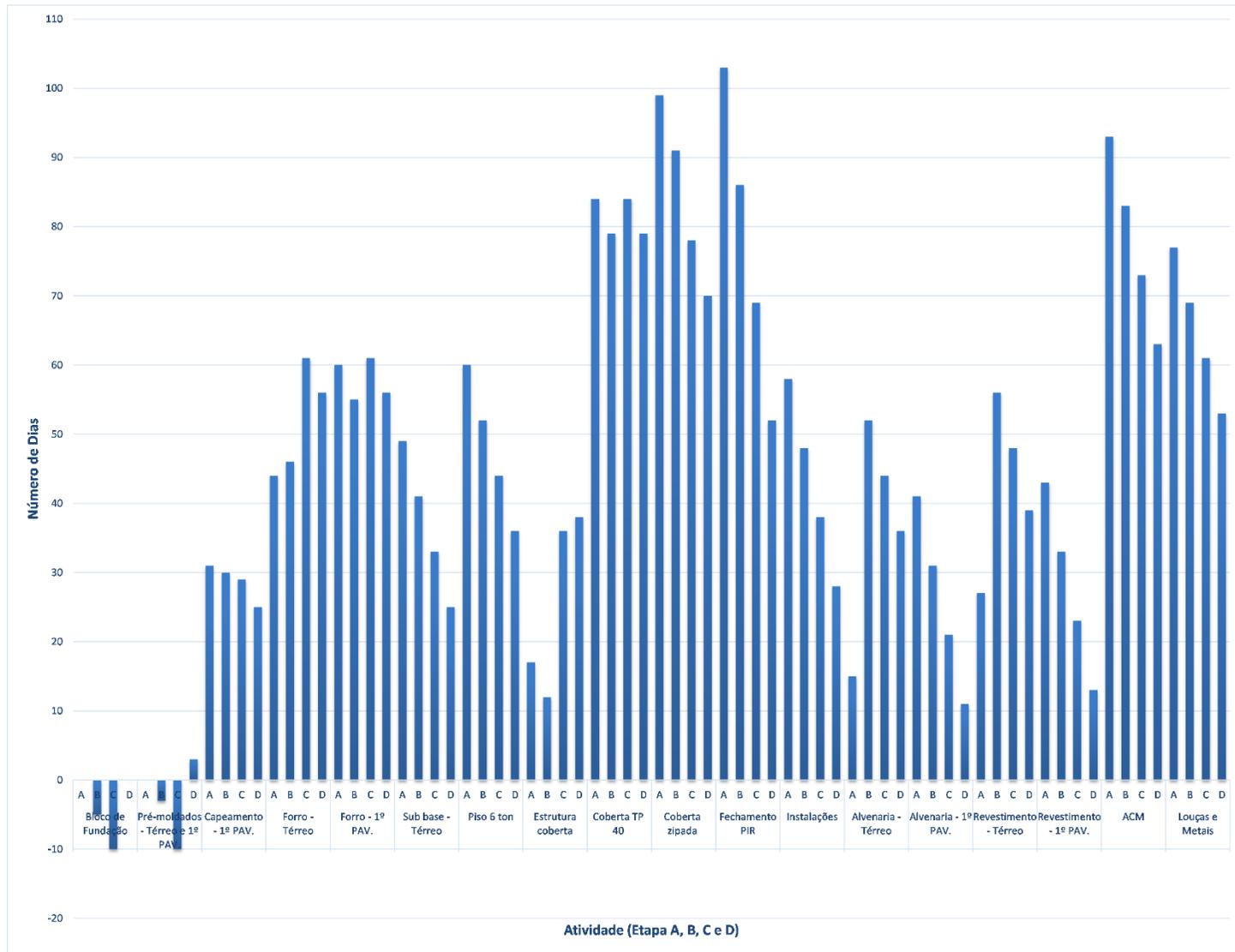
Outro indicador obtido a partir da análise dos prazos planejados para execução dos serviços com relação aos prazos nos quais as atividades foram de fato realizadas, foi o chamado desvio de prazo. O cálculo do desvio de prazo foi feito conforme a Equação 4 descrita no capítulo 3. O indicador de desvio de prazo compara a data planejada para a atividade iniciar com a data em que a atividade iniciou, ou seja, o desvio de prazo será a quantidade de dias de atraso para o início de um determinado serviço (desvio de prazo com valores positivos), ou ainda a quantidade de dias de antecedência em que o serviço iniciou (desvio de prazo com valores negativos) com relação a data de início que serviço foi planejado na LDB.

As informações de desvio de prazo podem ser verificadas no Quadro 7 e no gráfico da Figura 56. O eixo vertical do gráfico da Figura 56 mostra a escala de números de dias correspondente ao desvio de prazo, enquanto o eixo horizontal apresenta as atividades do processo produtivo em cada uma das quatro (4) etapas construtivas.

Ao observar o gráfico da Figura 56, notou-se desvios de prazo expressivos em dezesseis (16) atividades indicando atraso para o início dessas atividades, e apenas dois (2) serviços apresentaram desvio de prazo negativo (em destaque com a cor amarelo no Quadro 7), o que indicou que esses serviços iniciaram antes do dia planejado. Os serviços que tiveram os maiores desvios de prazo foram: forro do térreo e 1º pavimento, apresentando um desvio de prazo médio (quantidade de dias de atraso para o início da atividade) de cinquenta e dois (52) e cinquenta e oito (58) dias, respectivamente, em cada etapa da edificação; cobertura TP 40 que obteve um desvio de prazo médio de oitenta e um (81) dias de espera até que fosse iniciada; telha zipada, a qual teve desvio de prazo de oitenta e quatro (84) dias de atraso para início do serviço; fechamento PIR que obteve um desvio de prazo de setenta e sete (77) dias; painéis ACM que apresentou um desvio de prazo de setenta e oito (78) dias e louças e metais com um desvio de prazo de sessenta e cinco (65) dias de atraso para início da atividade.

Por outro lado, os serviços de bloco de fundação e pré-moldados de concreto foram iniciados antes da data planejada nas etapas construtivas B e C. De forma que obtiveram um desvio de prazo negativo de no máximo dez (10) dias de antecedência. Ademais, as atividades de bloco de fundação nas etapas A e D e pré-moldados na etapa A, foram iniciadas no dia em que foram programadas, de modo que não tiveram desvio de prazo.

Figura 56: Gráfico do desvio de prazo



Fonte: Elaborado pela autora

5.2.4 Análise do trabalho em progresso

Através do uso da ferramenta LDB também foi possível analisar o trabalho em progresso associado ao processo construtivo do empreendimento. O Quadro 8 relaciona o trabalho em progresso incluso na estratégia produtiva definida na LDB que foi planejada com o trabalho em progresso associado ao processo produtivo realizado na construção do empreendimento.

Quadro 8: Análise do trabalho em progresso associado ao processo produtivo

Etapa	Trabalho em progresso - Linha Balanço Planejada (QTD de Dias)	Trabalho em progresso - Linha Balanço do Realizado (QTD de Dias)	Varição (Dias)	Varição (%)
A	66	109	43	65%
B	56	106	50	89%
C	49	68	19	39%
D	36	61	25	69%

Fonte: Elaborado pela autora

A variação percentual foi calculada a partir da Equação 5 apresentada no capítulo 3.

O trabalho em progresso foi verificado em cada etapa construtiva, foi expresso em dias e pode ser visto através das setas de cor amarelo presente na LDB Planejado e executado (Figura 46, Figura 47, Figura 48, e Figura 49). Percebeu-se uma variação significativa entre o trabalho em progresso previsto e o realizado, e destacou-se a variação percentual do trabalho em progresso na etapa B, a qual foi de 89%.

5.2.5 Análise do paralelismo na execução das atividades

Ao se analisar a LDB que contém os prazos nos quais as atividades foram realizadas, pode-se observar o paralelismo na execução das atividades em cada etapa e lote de produção.

Como pode ser visto no Quadro 9, no lote de fundação, um total de três (3) serviços foram executados simultaneamente na etapa construtiva D; já no lote do pavimento térreo, seis (6) atividades foram executadas de forma paralela nas etapas A e B, e dois (2) serviços aconteceram de forma simultânea nas etapas C e D; e no lote do 1º pavimento, quatro (4) atividades foram executadas em paralelo em cada

etapa (A, B, C e D). Nos lotes de cobertura e fachada não houve execução de serviços de forma simultânea, bem como no lote de fundação nas etapas A, B e C.

Para melhor organização e controle do sistema de produção, é preferível que a execução de atividade de forma paralela aconteça na quantidade mínima, ou ainda, se possível, que seja evitada esse tipo de situação. Na LDB que apresenta o cenário planejado para o empreendimento foram admitidos dois (2) serviços (caixilhos e revestimento) que deveriam ser executados em paralelo no lote do pavimento térreo e no lote do 1º pavimento, foram admitidos três (3) serviços (caixilhos, revestimento e serralharia) para serem executados simultaneamente. Porém, antes de se permitir tal paralelismo, uma análise foi feita pela pesquisadora e o engenheiro de planejamento, a partir da rede de precedência das atividades, a qual mostrou que as atividades em questão não eram dependentes entre si.

Quadro 9: Análise das atividades planejadas e executadas em paralelo em cada etapa e lote de produção

(continua)

Lote	Etapa	Atividades Planejadas em Paralelo	QTD – Plan.	Atividades Executadas em Paralelo	QTD – Exec.	Desvio
Fundação	A	0	0	0	0	0
	B	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0
	D	0	0	Estaca Hélice DN 60, Estaca Hélice DN 40 e Bloco de Fundação	3	3
Térreo	A	Caixilho e Revestimentos	2	Instalações, Forro, Sub-base, Piso 6 ton, Alvenaria e Revestimento	6	4
	B	Caixilho e Revestimentos	2	Instalações, Forro, Sub-base, Piso 6 ton, e Alvenaria e Revestimento	6	4
	C	Caixilho e Revestimentos	2	Instalações, Sub-base	2	0
	D	Caixilho e Revestimentos	2	Instalações, Sub-base	2	0
1º Pav.	A	Caixilho, Revestimentos e Serralharia	3	Forro, Alvenaria, Revestimento e Serralharia	4	1
	B	Caixilho, Revestimentos e Serralharia	3	Forro, Alvenaria, Revestimento e Serralharia	4	1
	C	Caixilho, Revestimentos e Serralharia	3	Forro, Alvenaria, Revestimento e Serralharia	4	1
	D	Caixilho, Revestimentos e Serralharia	3	Forro, Alvenaria, Revestimento e Serralharia	4	1
Coberta	A	0	0	0	0	0

Lote	Etapa	Atividades Planejadas em Paralelo	QTD – Plan.	Atividades Executadas em Paralelo	QTD – Exec.	Desvio
	B	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0
Fachada	A	0	0	0	0	0
	B	0	0	0	0	0
	C	0	0	0	0	0
	D	0	0	0	0	0

(conclusão)

Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos dados de paralelismo identificados, foi possível calcular o desvio do paralelismo, ou seja, o desvio entre a quantidade de atividades planejadas para serem executadas em paralelo (QTD planejada) e a quantidade de atividades realizadas em paralelo (QTD realizada), conforme apresentado na Equação 6 descrita no capítulo 3.

Observou-se que o lote de fundação na etapa D apresentou um desvio de três (3) atividades sendo executadas de forma paralela. Já no pavimento térreo, o desvio foi de quatro (4) atividades nas etapas A e B, enquanto no 1º pavimento, aconteceu um desvio de uma atividade em todas as quatro etapas.

Ainda, é válido ressaltar que nos lotes onde houve desvio de paralelismo também houve uma quebra da rede de precedência das atividades, o que segundo os gestores da obra, demandou um controle e uma atenção maior para as frentes de trabalho, de forma a assegurar a qualidade dos serviços executados.

Para os gestores da obra, o atraso na entrega dos serviços por parte dos fornecedores subcontratados foi o principal fator que veio acarretar a execução dos serviços de forma paralela, e a estratégia de executar os serviços de forma paralela foi utilizada para reduzir a extensão do prazo da obra.

Foi possível perceber que o desvio de duração expressivo dos pré-moldados de concreto, em decorrência da falta de comprometimento do fornecedor com o planejamento da obra, interferiu nos prazos de todas as atividades sucessoras, visto que, com exceção das atividades de fundações, os pré-fabricados de concreto era o principal gargalo da produção do empreendimento.

5.2.6 Ocorrência de quebra da rede de precedência das atividades

A LDB dos serviços executados mostrou seis (6) situações em que a rede de precedência das atividades não foi obedecida: os serviços de acabamentos – metálica e forro do 1º pavimento aconteceram antes do término do serviço de telha TP 40; as atividades de capeamento, alvenarias, sub-base e piso 6 toneladas foram executadas antes da execução do serviço de forro.

Segundo os gestores da obra, a quebra da rede de precedência ocorreu devido à falta de comprometimento dos fornecedores subcontratados, os quais não concluíram os serviços dentro do prazo solicitado, conforme mencionado anteriormente no item 5.2.5.

A falta de cumprimento da sequência de atividades é um fator que pode acarretar interferência entre as equipes de trabalho, demandar um controle maior das atividades, além de comprometer a qualidade dos serviços executados.

Segundo a equipe da obra, a quebra da rede de precedência nas situações citadas anteriormente comprometeu o seguimento do planejamento, causando interferência entre as equipes, o que ocasionou um desgaste na relação da obra com os fornecedores, porém não comprometeu a qualidade dos serviços executados.

5.3 INDICADORES DE GESTÃO DA PRODUÇÃO OBTIDOS A PARTIR DO SISTEMA *LAST PLANNER* DE PLANEJAMENTO

Além dos indicadores de gestão da produção obtidos por meio da LDB dos serviços realizados, foram analisados também os indicadores de Percentual de Pacotes Concluídos (PPC), o índice de Remoção das Restrições (IRR) e o Avanço Físico do empreendimento, os quais foram fornecidos pela obra e serão apresentados a seguir.

5.3.1 Percentual de pacotes concluído – PPC

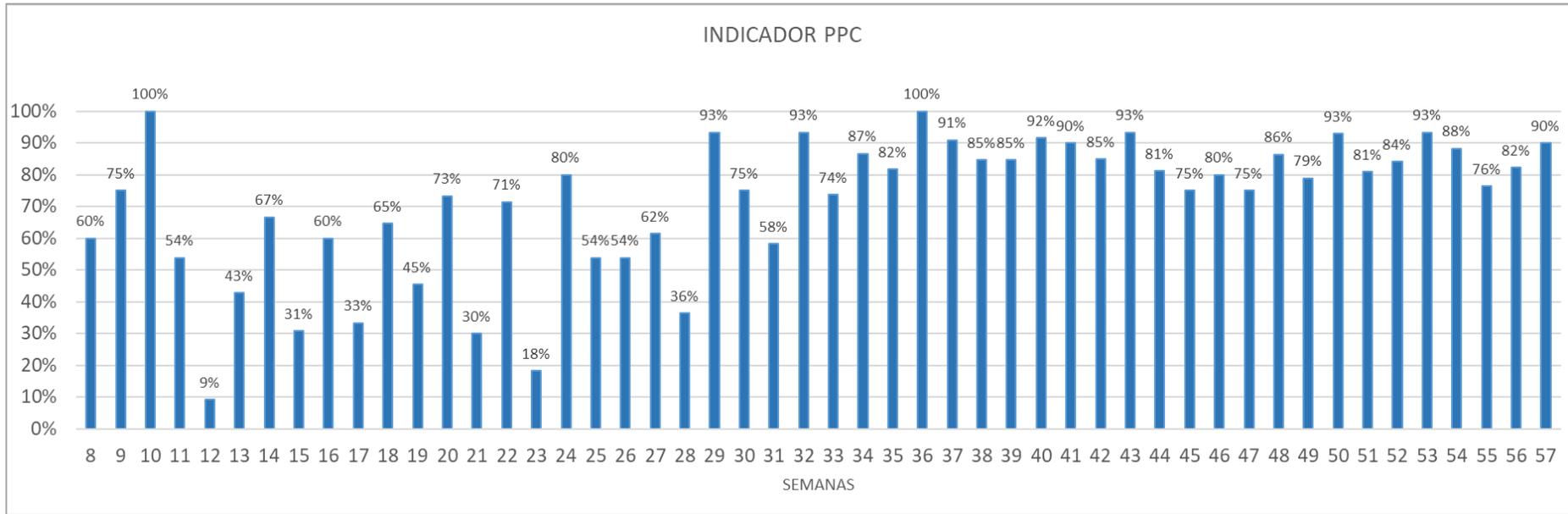
De acordo com o gráfico de PPC da obra, expresso na Figura 57, percebeu-se a existência de percentuais com valores abaixo de 80% nas primeiras semanas de obra (semana 8 à semana 26, período de setembro de 2020 até janeiro de 2021).

Dentre os motivos para não cumprimento dos pacotes de trabalho apontados nos documentos da obra estão a baixa produtividade da mão de obra ocasionado pelos efeitos da pandemia da COVID-19, a falta de comprometimento dos fornecedores dos serviços de fundação e as condições adversas do tempo.

No período entre as semanas 27 a 40 houve valores de PPC abaixo de 80% (fevereiro de 2021 até maio de 2021). Nesse intervalo de tempo estavam sendo executados os serviços de pré-fabricados de concreto e a principal causa de não cumprimento dos pacotes de trabalho foi a falta de comprometimento do fornecedor desse serviço com os prazos e com o planejamento da produção.

No intervalo de tempo entre as semanas 45 a 56 também ocorreram PPC com percentuais abaixo de 80% (junho de 2021 a agosto de 2021). Nesse período estavam sendo executados as atividades de forro, alvenarias e revestimento. As principais causas para não cumprimento dos pacotes de trabalho foram problemas relacionados a baixa produtividade da equipe de alvenaria, associado com a falta de um plano de ação do fornecedor e ao desfalque da equipe de forro, devido aos problemas de saúdes dos trabalhadores causados pela COVID-19, além da falta de comprometimento dos fornecedores com o cumprimento dos prazos, bem como devido à mudança nos planos da obra.

Figura 57: Gráfico do percentual de pacotes de trabalho concluídos PPC



Fonte: Adaptado do acervo da obra

As razões pelas quais os pacotes de trabalho não foram cumpridos foram apontadas com base no quadro de classificação das causas apresentada a seguir. Os números de ocorrências apresentados no Quadro 10, correspondem aos apontamentos feitos durante o período de total da obra.

Quadro 10: Classificação das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho
(continua)

CLASSIFICAÇÃO DE CAUSAS			Nº de ocorrências
1.Planejamento	11	Modificação dos planos	24
	12	Problemas não previstos na execução	0
	13	Má especificação da tarefa	0
	14	Atraso da tarefa antecedente	0
	15	Pré-requisito do plano não foi cumprido	0
	16	Falha na solicitação do recurso	0
2.Projeto	17	Problema na gerência do serviço	4
	21	Má qualidade do projeto	0
	22	Alteração do projeto	2
	23	Falta de projeto	0
	24	Incompatibilidade entre projetos	0
3.Problemas meteorológicos	25	Falta de conferência do projeto	0
	31	Condições adversas do tempo	14
4.Mão de obra	31	Condições adversas do tempo	14
	41	Serviço mal executado	4
	42	Baixa produtividade	27
	43	Superestimação da produtividade	0
	44	Falta de comprometimento do empreiteiro	1
	45	Absenteísmo	0
	46	Modificação da equipe (decisão gerencial)	5
	47	Falta de programação de mão de obra	6
	48	Afastamento por acidente	1
	49	Interferência entre equipes de trabalho	2
5.Inteferência do Cliente/DAC	410	Falta de dados sobre a produção de um novo serviço	0
	51	Solicitação de modificação do serviço que já estava sendo executado	2
	52	Solicitação de inclusão de pacote de trabalho no plano (diário ou mensal)	0
	53	Solicitação de paralisação dos serviços	1
	54	Indefinição por parte do cliente (projeto e/ou execução)	2
6.Equipamento	55	Liberação de serviços extras	1
	61	Manutenção do equipamento	8
	62	Falta de Programação de equipamento	2
7.Materiais	63	Mal dimensionamento	0
	71	Falta de materiais do empreiteiro	10
	72	Falta de programação de materiais	1
	73	Falta por perda elevada (acima estimada)	0
	74	Falta por necessidade de uso do material em outro local (não previsto)	0

CLASSIFICAÇÃO DE CAUSAS			Nº de ocorrências
8.Fornecedores	81	Fornecedor	35
	82	Atraso na entrega	7
	83	Manutenção de equipamento do fornecedor	2
9. Método	91	Falta informação no procedimento da empresa	0
	92	Procedimento da empresa	1

(conclusão)

Fonte: Adaptado do acervo da obra

O gráfico das causas de não cumprimento das atividades planejadas (Figura 58) constata que o problema que mais afetou o cumprimento do planejamento está relacionado à mão de obra, seguido por problemas associados os fornecedores e ao planejamento das atividades. No entanto, por não haver a descrição completa do problema ocorrido, o qual ocasionou o não cumprimento das atividades, não foi possível identificar a causa raiz dos problemas, como por exemplo, a causa da baixa produtividade das equipes, bem como os problemas com os fornecedores.

Figura 58: Gráfico do percentual de ocorrência de causas de não cumprimento das atividades



Fonte: Adaptado do acervo da obra

5.3.2 Índice de remoção das restrições – IRR

O Quadro 11 indica o índice de remoção de restrições calculado semanalmente pelo engenheiro de planejamento da obra.

O indicador IRR foi calculado conforme a Equação 7 apresentada no capítulo 3.

Quadro 11: Índice de restrições removidas semanalmente

(continua)

Semana	PERÍODO		RETRIÇÕES		IRR
	Início	Fim	Total do período	Removidas	
1	03/08/2020	09/08/2020	0	0	100%
2	10/08/2020	16/08/2020	0	0	100%
3	17/08/2020	23/08/2020	0	0	100%
4	24/08/2020	30/08/2020	0	0	100%
5	31/08/2020	06/09/2020	0	0	100%
6	07/09/2020	13/09/2020	0	0	100%
7	14/09/2020	20/09/2020	0	0	100%
8	21/09/2020	27/09/2020	0	0	100%
9	28/09/2020	04/10/2020	0	0	100%
10	05/10/2020	11/10/2020	0	0	100%
11	12/10/2020	18/10/2020	1	1	100%
12	19/10/2020	25/10/2020	18	18	100%
13	26/10/2020	01/11/2020	7	7	100%
14	02/11/2020	08/11/2020	25	25	100%
15	09/11/2020	15/11/2020	12	12	100%
16	16/11/2020	22/11/2020	1	1	100%
17	23/11/2020	29/11/2020	4	4	100%
18	30/11/2020	06/12/2020	8	8	100%
19	07/12/2020	13/12/2020	3	3	100%
20	14/12/2020	20/12/2020	5	5	100%
21	21/12/2020	27/12/2020	20	20	100%
22	28/12/2020	03/01/2021	18	18	100%
23	04/01/2021	10/01/2021	5	3	60%
24	11/01/2021	17/01/2021	3	2	66,7%
25	18/01/2021	24/01/2021	2	2	100%
26	25/01/2021	31/01/2021	1	1	100%
27	01/02/2021	07/02/2021	4	3	75%
28	08/02/2021	14/02/2021	6	5	83,3%
29	15/02/2021	21/02/2021	3	3	100%
30	22/02/2021	28/02/2021	5	4	80%
31	01/03/2021	07/03/2021	8	8	100%
32	08/03/2021	14/03/2021	9	7	77,8%
33	15/03/2021	21/03/2021	3	3	100%
34	22/03/2021	28/03/2021	2	2	100%
35	29/03/2021	04/04/2021	1	1	100%
36	05/04/2021	11/04/2021	1	1	100%
37	12/04/2021	18/04/2021	3	3	100%
38	19/04/2021	25/04/2021	4	4	100%
39	26/04/2021	02/05/2021	10	9	90%
40	03/05/2021	09/05/2021	1	1	100%
41	10/05/2021	16/05/2021	8	8	100%
42	17/05/2021	23/05/2021	5	5	100%
43	24/05/2021	30/05/2021	6	6	100%
44	31/05/2021	06/06/2021	3	2	66,7%
45	07/06/2021	13/06/2021	5	5	100%
46	14/06/2021	20/06/2021	10	10	100%

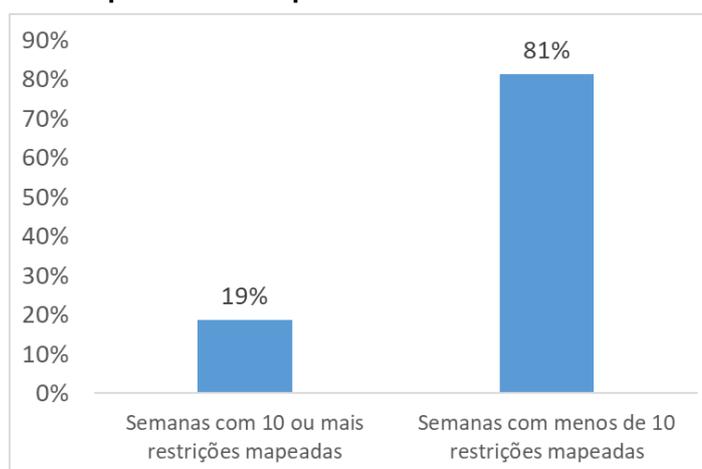
Semana	PERÍODO		RETRIÇÕES		IRR
	Início	Fim	Total do período	Removidas	
47	21/06/2021	27/06/2021	10	9	90%
48	28/06/2021	04/07/2021	14	13	92,9%
49	05/07/2021	11/07/2021	8	7	87,5%
50	12/07/2021	18/07/2021	3	3	100%
51	19/07/2021	25/07/2021	3	2	66,7%
52	26/07/2021	01/08/2021	4	4	100%
53	02/08/2021	08/08/2021	5	4	80%
54	09/08/2021	15/08/2021	3	3	100%
55	16/08/2021	22/08/2021	3	2	66,7%
56	23/08/2021	29/08/2021	4	1	25%
57	30/08/2021	05/09/2021	1	1	100%
58	06/09/2021	12/09/2021	1	0	0,0%

(conclusão)

Fonte: Adaptado do acervo da obra

Como pode ser visto em destaque na cor vermelho no Quadro 11, apenas a partir da semana 11 se iniciou o mapeamento das restrições. Ainda, foram obtidos percentuais de 100% de remoção de restrições em trinta e duas (32) semanas, porém, desse total de semanas em que o IRR foi de 100%, vinte e seis (26) semanas tiveram um número de restrições mapeadas inferior dez (10) unidades, o que equivaleu a um percentual de 81% (conforme destacado no Quadro 11, na cor amarelo). Portanto, apenas em 19% das semanas com o IRR 100% foram mapeadas dez (10) ou mais restrições, conforme apresenta o gráfico da Figura 59.

Figura 59: Análise da quantidade de restrições mapeadas nas semanas em que o IRR apresentou um percentual de 100%



Fonte: Acervo da autora

O fato de não existirem mapeamento de restrições nas primeiras dez (10) semanas pode ter prejudicado o sistema de planejamento da obra, considerando que uma das principais finalidades do planejamento de médio prazo é o mapeamento das restrições, as quais devem ser resolvidas em tempo hábil para que não interfiram no andamento das atividades que serão realizadas no horizonte de tempo estabelecido no plano de médio prazo. Além disso, percebeu-se a partir do gráfico da Figura 59, que na maioria das semanas que apresentaram IRR de 100% existiam poucas restrições mapeadas, fato esse que também pode ter prejudicado o planejamento e controle da produção do empreendimento, considerando que as atividades não aconteceram dentro do prazo estabelecido.

Para se fazer uma análise entre o PPC semanal e o IRR, foram selecionadas três (3) semanas que apresentaram o PPC abaixo de 80%, conforme o Quadro 12. Tomando como exemplo o caso da semana 27, observou-se que o PPC foi de 62% e as causas de não cumprimento das atividades foram problemas de manutenção de equipamentos e baixa produtividade, já o IRR da semana anterior (semana 26) apresentou um percentual de 100%, porém apenas uma restrição foi mapeada e removida na semana 26, a qual estava relacionada a problemas de projetos. Percebeu-se também que as semanas 30 e 31 apresentaram problemas meteorológicos e problemas com o fornecedor de pré-fabricados de concreto, enquanto as poucas restrições mapeadas nas semanas 29 e 30 apresentavam natureza de mão de obra, material, projeto e documentação.

Quadro 12: Análise do PPC x IRR

Semana	PPC	Causas de não cumprimento das atividades	IRR da semana anterior	QTD de restrições removidas	Natureza das restrições
27	62%	Manutenção de equipamento e baixa produtividade	100%	1	Projetos
30	75%	Chuva e problemas com o fornecedor de pré-fabricados de concreto	100%	3	Mão de obra e material
31	58%	Chuva e problemas com o fornecedor dos pré-fabricados de concreto	80%	5	Documentações de segurança do trabalho e projeto

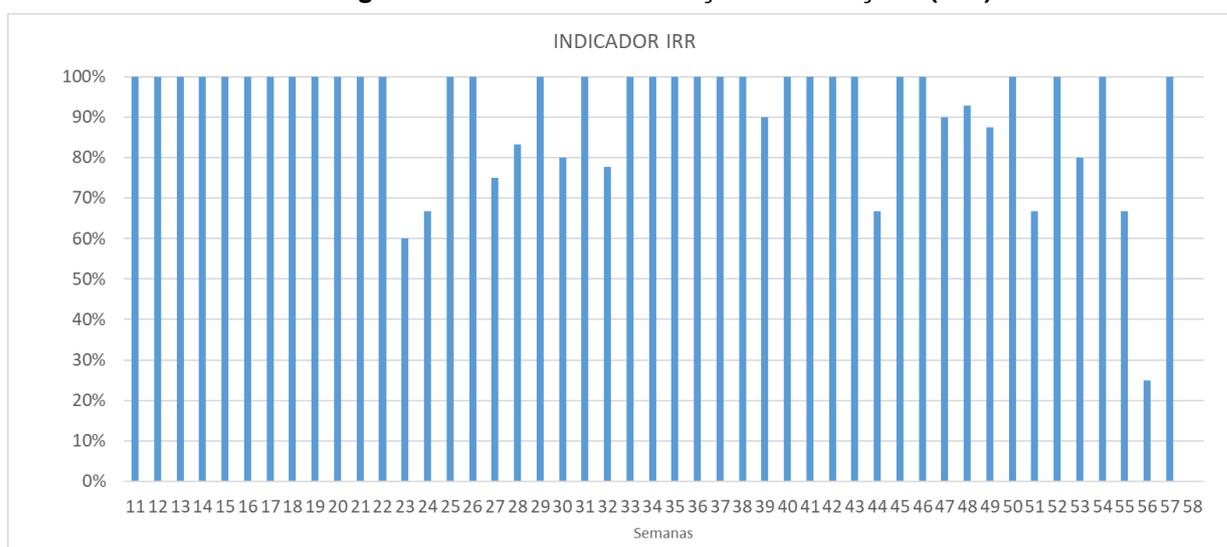
Fonte: Acervo da autora

Notou-se a partir desses dados, que não foram mapeadas restrições que apresentassem relação com os problemas ocorridos no período, os quais foram os motivos de não cumprimento das atividades.

Além disso, foi constatada a falta de detalhamento das causas de não cumprimento das atividades no plano de curto prazo, como por exemplo, o quadro de classificação das atividades indicou no item 81 que o problema estava relacionado com o fornecedor, mas, devido à falta de um detalhamento no planejamento semanal não foi possível identificar o que de fato aconteceu e qual seria a falha do fornecedor.

Conforme apresentado no gráfico de IRR (Figura 60), as semanas que obtiveram um percentual de remoção de restrições abaixo de 80% foram: 23, 24, 27, 30, 32, 44, 51, 55 e 56. Nesse período as restrições estavam relacionadas à mão de obra, aos fornecedores e ao planejamento, de forma que os gestores sentiram dificuldades para remover todas as restrições.

Figura 60: Indicador de remoção de restrições (IRR)



Fonte: Adaptado do acervo da obra

5.3.3 Avanço físico do empreendimento

O avanço físico da obra começou a ser monitorado na semana 1 na data de 03 de agosto de 2020, dois meses após o início da obra. Durante o decorrer da construção do empreendimento, o cronograma da obra passou por algumas reprogramações. No mês de dezembro de 2020, o cronograma da obra foi

reprogramado estabelecendo o término da obra para julho de 2021, ou seja, para a semana 52, apresentada no gráfico da Figura 61.

Destacou-se que o trabalho realizado pela pesquisadora neste estudo de caso considerando o cronograma apresentado pelos gestores da obra após a primeira reprogramação (período de dezembro de 2020 até julho de 2021, totalizando um prazo de oito (8) meses). Todos os indicadores apresentados do item 5.2 foram calculados considerando a linha de base de oito (8) meses de obra.

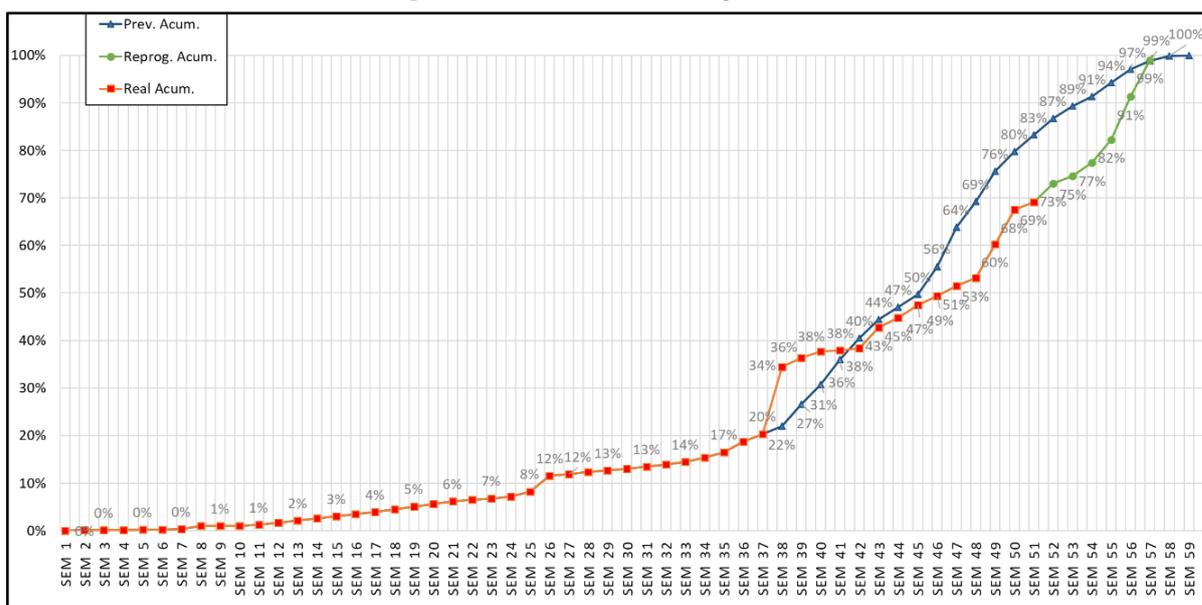
No entanto, verificou-se no gráfico da Figura 61, que na semana 42, no mês de maio de 2021, houve uma nova reprogramação do cronograma devido aos atrasos ocorridos no período. De modo que o prazo da obra foi estendido para 19 de setembro de 2021, representado no gráfico pela semana 59.

Ao se verificar o gráfico do avanço físico, notou-se que o aumento de trinta (30) dias na duração das atividades de montagem das peças pré-fabricadas de concreto, o qual foi mostrado no item 5.2.3, não aparece no avanço físico da obra. Considerando que os pré-fabricados não terminaram dentro do prazo estabelecido, e que esse serviço representava um peso de 33,2% com relação da todas as outras atividades do cronograma executivo do empreendimento, esperava-se que o indicador de avanço físico da obra mostrasse desvio. No entanto, no período entre as semanas 27 e 40, quando foi executado a montagem dos pré-fabricados de concreto, o gráfico não apresentou desvios. Esse fato nos leva a crer que esse indicador não expressou fielmente os atrasos ocorridos no cronograma da obra.

Por outro lado, percebeu-se que a partir da semana 40 até a semana 57, houve uma queda no percentual real acumulado em comparação ao percentual previsto acumulado, mesmo após o aumento de prazo que saiu de 52 semanas para 59 semanas. Essa queda se deve aos problemas já relatados no item 5.2, os quais afetaram consideravelmente o cumprimento dos prazos da obra.

Vale ressaltar a falta de estabilidade do cronograma de longo prazo do empreendimento, pois esse passou por duas (2) reprogramações ao longo do período de execução da edificação, devido aos problemas e interferências relatadas nessa seção. A existência de reprogramações pode afetar a confiabilidade dos planos de médio e curto prazo, e até mesmo promover a falta de comprometimento dos envolvidos no processo produtivo com os prazos e metas estabelecidas pela gestão da obra.

Figura 61: Gráfico do avanço físico da obra



Fonte: Adaptado do acervo da obra

As reprogramações do cronograma podem caracterizar a falta de planos de ação eficientes para buscar o cumprimento dos prazos iniciais estabelecidos.

5.4 ANÁLISE CRÍTICA

A observação dos processos gerenciais na empresa X tornou possível a realização de uma avaliação de constructos e subconstructos relacionados às boas práticas de planejamento. O Quadro 13 apresenta a avaliação de aspectos específicos do planejamento verificados pela pesquisadora durante a realização desse estudo.

Quadro 13: Descrição da avaliação de constructos e subconstructos do planejamento
(continua)

Constructos	Subconstructos	Descrição da avaliação
Utilidade	Incentivo ao processo colaborativo do planejamento.	Identificou-se que a colaboração por parte dos participantes no processo de planejamento é um fator que necessita de melhorias. Faltou uma maior participação dos envolvidos nas decisões estratégicas, bem como no processo de mapeamento e remoção de restrições, os quais aconteciam durante a reunião de médio prazo.
	Aumento da transparência e do acesso a informações.	A equipe da obra fazia uso da ferramenta visual <i>Pull Planning</i> , o qual ficava exposto no canteiro. Porém, a equipe da obra não utilizou LDB que foi construída pela pesquisadora com a participação dos engenheiros para apoiar o processo de planejamento e controle das atividades. Portanto, entende-se que a transparência é um fator que pode ser mais bem explorado pela empresa X.

Constructos	Subconstructos	Descrição da avaliação
Facilidade de uso	Contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os envolvidos.	Nas reuniões de médio prazo, utilizava-se uma planilha no formato do <i>MS Excel</i> para acompanhamento das atividades e das datas de realização. O formato pelo qual o planejamento era apresentado não facilitava a visualização das atividades planejadas por parte dos participantes do projeto. A LDB não foi utilizada nas reuniões de médio prazo para visualização das atividades planejadas o que poderia ter promovido maior transparência e contribuído para o entendimento do planejamento por parte dos envolvidos.
	Participação dos envolvidos no processo de elaboração do planejamento.	Durante o processo de elaboração da rede de precedência e da LDB houve participação do engenheiro de planejamento e do gerente de contrato, no entanto, a não utilização da ferramenta por parte da equipe da obra indicou uma possível necessidade de revisão da estratégia acordada, porém não houve solicitação de alteração da LDB por parte da equipe participante.
	Possibilidade de continuidade do processo após o estudo.	O engenheiro de planejamento informou que as ferramentas visuais que foram propostas neste estudo podem contribuir positivamente para a melhoria da gestão dos processos de planejamento e que gostaria de aplicá-las em outro projeto.

(conclusão)

Fonte: Adaptado de Bortolini (2015)

Ao se analisar o modelo de gestão existente na empresa X, foi possível perceber a preocupação da empresa com os aspectos relacionados ao planejamento e controle da produção e com a qualidade das suas entregas.

Notou-se que a empresa possuía uma rotina de reuniões mensais, semanais e diárias com o propósito de monitorar, controlar e melhorar os seus processos. Além disso, a empresa se preocupava em promover a melhoria contínua das suas atividades através do uso de ferramentas de planejamento e controle da produção, como o Sistema *Last Planner* (SLP), a gestão visual, com a utilização do cronograma de longo prazo exposto utilizando *post-its*, e por buscar envolver no planejamento os principais participantes do projeto.

Apesar de todo esforço inegável da empresa X em desenvolver o planejamento de forma eficiente, a análise dos indicadores do SLP realizada no item 5.3 mostrou que o planejamento de médio prazo apresentava oportunidades de melhorias no que dizia respeito à realização de reuniões mais colaborativas com o propósito de se mapear e remover restrições que possam atrapalhar o andamento das atividades. Foi verificado que o IRR apresentou percentuais altos de remoção de restrições e um número baixo de restrições mapeadas, no período em que o processo produtivo da obra estava passando por várias interferências e problemas com os fornecedores. No entanto, os problemas vivenciados não foram mapeados em forma de restrições.

O *Pull Planning* elaborado pela equipe da empresa X apresentava um ponto de melhoria no sentido que se faz necessário a realização da rede de precedência das atividades para que a sequência das atividades fosse considerada na disposição do cronograma. A linha de balanço que foi elaborada nesse estudo com base nos prazos proposto no *Pull Planning* da empresa X mostrou que havia algumas interferências entre atividades, como por exemplo, existiam atividades planejadas para iniciar antes do término da atividade predecessora.

Além do mais, o *Pull Planning* utilizado pela empresa X tinha apenas o objetivo de tornar o cronograma da obra visual, os gestores não utilizavam a ferramenta para definir os marcos e ajustar os prazos.

Outro ponto de melhoria identificado estava relacionado ao planejamento semanal, onde o detalhamento das causas de não cumprimento das atividades não foram descritas, e com isso não foi possível verificar a causa raiz dos problemas de baixa produtividade, os quais tiveram a maior incidência durante a execução da edificação. De igual modo, não foi possível identificar a causa raiz dos problemas relacionados aos fornecedores, estes que obtiveram a segunda maior quantidade de ocorrências durante o processo produtivo.

Também é válido ressaltar que o indicador de avanço físico da obra não indicou o desvio de duração de trinta (30) dias das atividades de montagem de estrutura de pré-fabricados de concreto. Isso foi considerado um risco do projeto, pois se considera que o indicador tem o papel de revelar aos gestores os rumos que o projeto está seguindo para que os planos de ação possam ser aplicados em caso de atraso das atividades. Ademais, a existência de duas reprogramações no cronograma tendeu a diminuir a confiabilidade dos prazos e das metas que deveriam ser seguidas durante a execução das atividades, além de que revelou a falta de planos de ação eficientes para cumprimento dos prazos.

Por outro lado, os gestores entenderam a necessidade de se desenvolver e estruturar melhor o PSP em suas obras, para apoiar, subsidiar e nortear o SLP dos seus projetos, de modo que este trabalho é parte do esforço da empresa em agregar valor ao planejamento do sistema produtivo.

Com relação aos indicadores verificados com base na LDB, destacou-se que 78% das atividades não aderiram ao plano de ataque, e como justificativa, os gestores da obra atribuíram o ocorrido ao não comprometimento de alguns fornecedores subcontratados com as metas propostas. Entretanto, percebeu-se também, que houve

pouca utilização da ferramenta da LDB sugerida para apoiar o PSP do empreendimento, de modo que ocorreram bastante mudanças no plano de ataque proposto. Para os gestores da obra a maior dificuldade em se cumprir o plano proposto na LDB foi a falta de responsabilidade dos fornecedores subcontratados com o planejamento da obra, mas, na visão da pesquisadora, além do problema apontado pelos gestores, houve pouca participação dos fornecedores no processo de planejamento da obra. Isso foi verificado durante a elaboração e acompanhamentos do plano de médio prazo através de reuniões colaborativas, quando as restrições deviam ser mapeadas e removidas, o que pode ter acarretado na falta de responsabilidade dos envolvidos com os prazos estabelecidos.

Os indicadores verificados a partir da LDB apresentados no item 5.2 mostraram a falta de aderência ao plano de ataque, os desvios de duração e prazo e a falta de ritmo das equipes que aumentaram o trabalho em progresso em 89%. Portanto, identificou-se que a LDB é uma ferramenta que apoia de fato o planejamento e controle da produção, e a sua utilização possibilitou a identificação de aspectos que podem subsidiar a tomada de decisão durante o decorrer da execução do empreendimento. Além disso, por ser uma ferramenta visual, a LDB trouxe transparência ao processo de planejamento e controle produtivo.

A LDB elaborada foi sugerida para o projeto da produção da empresa X com o intuito de melhor estruturar o PSP do empreendimento para promover melhorias nos quesitos de organização do sistema produtivo, de ordenação no fluxo das atividades e no ritmo das equipes de trabalho, de definição dos recursos necessários, de redução de desperdícios na cadeia produtiva e de cumprimento dos prazos. De tal maneira, a utilização da LDB poderia ter sido um guia para o desenvolvimento do SLP no empreendimento, se a ferramenta tivesse sido mais bem explorada, poderia ajudar aos gestores a perceber os desvios de duração e prazos das atividades, de forma a sinalizar a necessidade de planos de ação que permitissem o cumprimento das metas estabelecidas.

6 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito analisar os processos gerenciais de um empreendimento que possuía características de construção industrializada e propor melhorias ao sistema de planejamento e controle da produção, as quais serão apresentadas nessa seção.

De tal forma, considerando que a construção industrializada apresentava algumas características que exigia uma atenção maior da equipe responsável pelo gerenciamento dos processos do planejamento e controle da produção, tais como: a gestão de fornecedores de serviços subcontratados e curto período de tempo para execução e entrega da obra, é importante que o planejamento do empreendimento seja bem estruturado para garantir a organização do fluxo das atividades e tenha o máximo de precisão e controle das atividades.

A partir da análise realizada no estudo de caso que foi apresentado neste trabalho, torna-se possível sugerir as melhorias propostas a seguir.

a) Desenvolver o SLP em todos os seus níveis:

- Apresentar o cronograma de longo prazo através de ferramentas visuais de planejamento baseado na localização (LDB), o qual deve nortear os processos do planejamento para cumprimento dos prazos.
- Estruturar o cronograma de fases (*Pull Planning*) a partir de marcos bem definidos que determinarão o período em as atividades deverão acontecer. Nessa fase, sugere-se promover a participação dos principais fornecedores subcontratados, bem como dos gestores da obra para que haja o entendimento e o comprometimento dos participantes com os prazos firmados entre as partes.
- Recomenda-se que o cronograma de longo prazo e o *Pull Planning* sejam elaborados em consonância com a rede de precedência das atividades para evitar interferência entre as tarefas no momento da execução delas.
- Desenvolver o plano de médio prazo através de ferramentas visuais como o uso de *post-its* ou através de LDB, para promover a transparência do plano e facilitar sua visualização. O plano de médio

prazo deve ser elaborado com a participação dos principais fornecedores e dos gestores da obra, e é preferível que ele seja acompanhado com frequência por meio de reuniões com os participantes. A frequência adequada e o período do planejamento de médio prazo deve ser avaliado de acordo com a necessidade e com o prazo de término da obra.

- Realizar reuniões periódicas e colaborativas para verificação do plano de médio prazo, com a participação dos fornecedores e dos representantes das diversas áreas que compõem o projeto (segurança, suprimentos, produção, planejamento e qualidade) com o objetivo de mapear e remover as restrições que possam impedir a realização das atividades e para acompanhamento das metas estabelecidas no plano de médio prazo.
- Integrar o cronograma de fabricação e montagem das peças que são produzidas em fábrica, e fora do canteiro, de acordo com o cronograma de médio prazo da obra, para que as peças sejam recebidas no canteiro de acordo com a sequência de montagem planejada, de forma a evitar os estoques e possíveis problemas na logística e no fluxo das atividades. A fábrica e o canteiro devem manter uma comunicação ativa para que não haja atraso na entrega e para que o plano acordado seja cumprido.
- Acompanhar o plano de curto prazo diariamente, por meio de reuniões de *check-in* e *check-out* com a participação dos responsáveis pelas metas contidas na programação semanal, além disso, o plano de curto prazo deve estar alinhado com as metas do plano de médio prazo, e em caso de não cumprimento das metas, sugere-se a elaboração de planos de ação que busquem os prazos almejados.
- Relatar as causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho propostos na programação semanal, de maneira a permitir a identificação da causa raiz que impediu que a atividade acontecesse, para facilitar a tratativa do problema.

b) Estruturar o PSP através de ferramentas visuais:

- Definir a sequência de execução do empreendimento considerando a organização dos processos produtivos e a disposição do canteiro de obra.
 - Pré-dimensionar os recursos necessários para a produção de modo a evitar os desperdícios ou a falta de material, equipamento e mão de obra.
 - Definir os lotes de produção, estabelecendo um ritmo para as equipes e buscar o fluxo contínuo de execução das atividades.
 - Elaborar a rede de precedência das atividades de modo a visualizar a relação de dependência entre as atividades do projeto, permitindo a eliminação de restrições e a identificação dos gargalos existentes no processo de produção.
 - Utilizar da ferramenta LDB para realizar o estudo dos fluxos de trabalho, e estabelecer o ritmo das equipes que resulte no fluxo contínuo das atividades e na redução do trabalho em progresso. Além disso, sugere-se a utilização da LDB para elaboração de cenários de produção possibilitando a escolha da melhor estratégia de execução do empreendimento.
 - Avaliar a necessidade de elaborar a LDB separadamente para as atividades mais críticas e que necessitam de um estudo dos fluxos de trabalho mais profundo, de modo planejar e definir a sequência e o ritmo de produção da atividade que mais se adeque a operacionalização do processo produtivo.
- c) Utilizar o PSP estruturado como suporte para as definições e decisões que serão tomadas no SLP.
- d) Recomenda-se que o PSP seja acompanhado conforme o andamento do projeto e que sejam avaliadas as necessidades de realização de mudanças de estratégias, e estas devem ser feitas em tempo hábil para que o sistema de planejamento e controle da produção não seja prejudicado.
- e) Realizar o acompanhamento e monitoramento das atividades que foram planejadas para verificação de possíveis desvios e atrasos, de modo a

identificar a necessidade de planos de ação para cumprimento das metas e objetivos.

O Quadro 14 apresenta o resumo das ações de melhorias que esse estudo propõe para o Planejamento e Controle da Produção.

Quadro 14: Proposição de Melhorias para Planejamento e Controle da Produção

(continua)

Problema identificado no processo do planejamento	Ação de Melhorias propostas	
<p>Falta de um Projeto do Sistema de Produção (PSP) para nortear o planejamento e controle da obra e subsidiar a tomada de decisão no decorrer do projeto.</p>	<p>Estruturar o PSP de modo colaborativo, buscando a participação dos principais atores da execução do projeto, tais como as equipes de produção, planejamento e fornecedores subcontratados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Definir a sequência de execução do empreendimento; • Elaborar a rede de precedência das atividades; • Pré-dimensionar os recursos necessários (material, mão de obra, equipamento, entre outros); • Dividir a execução do projeto em etapas e definir lotes de produção; • Utilizar a gestão visual na criação do PSP e na identificação das etapas e lotes do projeto; • Estabelecer um ritmo de produção e buscar o fluxo contínuo de execução das atividades; • Utilizar ferramentas de gestão visual para realizar o estudo dos fluxos de trabalho, sugere-se a Linha de balanço (LDB); • Avaliar a necessidade de se elaborar uma LDB exclusiva para as atividades críticas do projeto. • Fazer o acompanhamento do PSP no decorrer da execução do projeto, de modo a identificar a necessidade de mudanças estratégicas.
<p>Falta de colaboração dos participantes do projeto no processo de desenvolvimento dos planos.</p>	<p>Desenvolver Sistema <i>Last Planner</i> em todos os seus níveis (longo, médio e curto prazo), promovendo a participação dos atores do projeto em todas as etapas do planejamento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver o cronograma de Longo Prazo utilizando ferramentas visuais, sugere-se a LDB; • Desenvolver o cronograma de Fases (<i>Pull Planning</i>) a partir de marcos bem definidos; • Construir os cronogramas de Longo Prazo e o <i>Pull Planning</i> com base na rede de precedência das atividades; • Elaborar o cronograma de Médio Prazo utilizando ferramentas visuais, sugere-se a LDB, bem como o uso de post-its coloridos; • Elaborar o plano de Curto Prazo a partir das metas estabelecidas no plano de Médio Prazo;

Problema identificado no processo do planejamento	Ação de Melhorias propostas	
		<ul style="list-style-type: none"> • Integrar o plano de entrega das peças pré-fabricadas provenientes das fábricas ao plano de execução da obra, de modo a incentivar a produção das peças com base na demanda da obra (<i>Just-in-time</i>), evitando a ocorrência de estoques;
Falta de processos de controle de produção.	Promover reuniões periódicas de acompanhamento e controle dos planos e realizar o gerenciamento de restrições.	<ul style="list-style-type: none"> • Promover reuniões periódicas para avaliação do plano de Médio Prazo com foco no mapeamento e remoção de restrições; • Acompanhar o plano de Curto Prazo através de reuniões diárias de <i>check-in</i> e <i>check-out</i>; • Identificar as causas raiz de não cumprimentos dos pacotes de trabalho e realizar as tratativas dos problemas por meio da ferramenta <i>kaizen</i>.

(conclusão)

Fonte: Elaborado pela autora

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do que foi apresentado no decorrer desse estudo, entende-se que o planejamento e controle da produção de empreendimentos da construção civil é um segmento que tem sido muito explorado em estudos realizados por diversos pesquisadores nacionais e internacionais.

No entanto, considerando o cenário nacional, o planejamento e controle da produção ainda apresenta oportunidades de melhorias, e conseqüentemente, existem espaços para que novos estudos com o propósito de discutir, analisar e apresentar propostas que promovam o desenvolvimento e melhorias para as áreas do projeto do sistema de produção e do planejamento e controle da produção sejam desenvolvidos.

No tocante à melhoria dos processos gerenciais, a construção enxuta apresenta uma série de princípios que podem reduzir os desperdícios existentes da cadeia produtiva e que ainda precisam de uma maior disseminação dentro da indústria da construção civil, como o Sistema *Last Planner*.

Tomando como exemplo o estudo de caso que correspondeu a esse trabalho, e em resposta ao primeiro objetivo específico desse estudo, que foi descrever e analisar o sistema de gestão existente no empreendimento, percebeu-se que o sistema de planejamento e controle da produção realizado pela empresa X poderia ser mais bem estruturado a nível estratégico, através de definições e decisões que fossem implantadas a partir de um PSP, e que norteassem o planejamento do empreendimento. Outro ponto que poderia ser melhorado seria a criação de rotinas de planejamento e controle que promovessem confiabilidade aos planos elaborados.

Além do mais, a transparência dos planos, os quais possuíam o objetivo de direcionar a realização das tarefas e o cumprimento dos prazos, era um quesito que podia ser mais bem explorado pela empresa X, através do uso de ferramentas de planejamento que permitissem a visibilidade das tarefas planejadas, como por exemplo a LDB. Conforme observado no capítulo 5, a LDB possibilitou a extração de indicadores de planejamento que podem ajudar os gestores na tomada de decisão durante o desenvolvimento do projeto. A apresentação de indicadores de planejamento oriundos do acompanhamento do planejamento das atividades pela LDB foi o quarto objetivo específico desse estudo.

O segundo objetivo específico desse estudo foi de apresentar maneiras de se utilizar a ferramenta LDB para melhor estruturar o PSP. A partir disso, a pesquisadora elaborou com a ajuda da equipe da obra, a rede de precedência das atividades e a LDB que trazia uma proposta de estruturação do PSP para dar suporte às decisões do planejamento e controle da produção da obra. Porém, a LDB foi pouco utilizada pela equipe da técnica da obra, o que segundo o engenheiro de planejamento da obra, devido ao baixo comprometimento dos fornecedores, subcontratados em cumprir os prazos e o plano de ataque proposto.

No entanto, notou-se que o engenheiro de planejamento da obra esteve sempre muito ocupado devido à alta demanda de tarefas que ele assumia, e com isso, não tinha tempo para trabalhar no planejamento estratégico e promover ações que incentivassem a participação dos fornecedores subcontratados nas reuniões de planejamento estratégico, tático e operacional. Portanto, a baixa colaboração dos líderes das equipes do setor operacional na etapa de elaboração dos planos, pode ter sido um fator que interferiu diretamente no baixo índice de comprometimento das equipes em cumprir as metas propostas pelo planejamento da obra.

Além disso, a proposta da utilização da LBD poderia ter facilitado a visualização das atividades durante o processo de elaboração dos planos de médio prazo, no mapeamento de restrições e também na construção dos planos curto prazo. A LDB permite a fácil identificação das tarefas que estão previstas para o período em questão, trazendo foco para obtenção dos recursos (mão de obra, equipamento, material) necessários para realização dos serviços. A estruturação do PSP como ferramenta de suporte às decisões do Sistema *Last Planner*, foi o terceiro objetivo específico desse trabalho.

Dentro desse aspecto, percebeu-se mais uma oportunidade de melhoria nos processos da empresa X, a qual consistia em ajustar a interface entre o planejamento tático (médio prazo), com o planejamento operacional (curto prazo), por meio de um eficiente mapeamento e remoção de restrições. Entretanto, essa interface poderia ser feita através de uma intensa colaboração e participação dos integrantes das diversas áreas da empresa X (gerência, produção, planejamento, qualidade, suprimentos, engenharia, encarregados e representantes dos fornecedores subcontratados) os quais tem grande importância para a realização das atividades e cumprimento dos prazos.

A comunicação entre o canteiro de obra e a fábrica de pré-fabricados, bem como a integração entre os planejamentos da obra e da fábrica foram aspectos que necessitaram de atenção. Esses quesitos poderiam ser mais bem explorados pela empresa X, de modo a permitir o alinhamento das informações e das metas a serem cumpridas, e para melhorar o grau de comprometimento e responsabilidade dos fornecedores subcontratados com os prazos da empresa X, e como consequência, potencializar o índice de qualidade das entregas da empresa X para com os seus clientes.

Por fim, como produto desse trabalho e último objetivo específico do estudo, foram propostas uma série de melhorias para o planejamento e controle da produção com base nos conceitos do Sistema *Last Planner*, as quais estão descritas no capítulo 6. A partir da estruturação do PSP do empreendimento e como resultado do acompanhamento do planejamento da obra e das análises e observações realizadas no sistema de gestão da empresa X, foi possível sugerir inúmeras ações de melhorias ao planejamento e controle da produção, as quais podem contribuir para o aumento do grau de organização das atividades, e para a construção e fundamentação de rotinas de planejamento mais efetivas.

Como continuidade dessa pesquisa sugerem-se os seguintes pontos:

- Investigar o papel do PSP para promover maior engajamento entre o cliente, fornecedores e equipe técnica da empresa construtora no processo de tomada de decisões estratégicas, antes, e durante a execução do projeto;
- Analisar a eficácia da ferramenta de planejamento *Pull Planning* a nível de logo e médio prazo, para estabelecer marcos para término das atividades e buscar o cumprimento dos prazos. Explorar o potencial visual e colaborativo dessa ferramenta para trazer transparência e objetividade para os planos.
- Investigar a eficácia de promover rotinas de reuniões de planejamento de médio prazo com a participação dos fornecedores subcontratados, como forma de buscar a elaboração de planos mais assertivos, realizar o gerenciamento das restrições e incentivar o comprometimento dos fornecedores com o cumprimento das metas. Utilizar ferramentas de planejamento visuais, como a LDB para facilitar a visualização das atividades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLARD, G.; ARBULU, R. Making prefabrication lean. *In: Annual conference internacional group Lean Construction*, 12, Helsingor, 2004. **Proceedings...** Helsingor, 2004. Disponível em: <https://iglc.net/papers/Details/285>. Acesso em: 01 set. 2022.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Lean project management. **Building Research & Information**, v. 2, n. 31, p. 119-133, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613210301997>.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing lean construction: stabilizing work flow *In: Annual conference internacional group lean construction*, 2, Santiago, 1994. **Proceedings...** Santiago, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237612849_Implementing_Lean_Construction_Stabilizing_Work_Flow. Acesso em: 01 set. 2022.
- BALLARD, G. **The last planner system of production control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. What kind of production is construction? *In: Annual conference internacional group lean construction*, 6, Guarujá, 1996. **Proceedings...** Guarujá, 1996. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/37>. Acesso em: 01 set. 2022.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. An update on last planner. *In: Annual conference internacional group Lean Construction*, Virgínia, 2003. **Proceedings...** Virgínia, EUA 2003.
- BALLARD, G. "Phase Scheduling." P2SL Research Workshop, 2008.
- BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. Current process benchmark for the last planner system. **Lean Construction Journal**. Berkeley, p. 57-89. 2016. Disponível em: https://p2sl.berkeley.edu/wp-content/uploads/2016/10/Ballard_Tommelein-2016-Current-Process-Benchmark-for-the-Last-Planner-System.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.
- BIOTTO, C. N. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso de modelagem BIM 4D**. 2012. 180 p. Dissertação (Mestrado em Gestão e Economia da Construção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- BIOTTO C., KAGIOGLOU, KOSKELA, L. e TZORTZOPOULOS, P. "Comparing production design activities and location-based planning tools." *In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 25, Heraklion, 2017. **Proceedings...** Heraklion, 2017. DOI: [10.24928/2017/0176](https://doi.org/10.24928/2017/0176).
- BIOTTO, C. N. **O sistema last planner de planejamento e controle da produção**. 17 jun. 2020. 130 slides. Material apresentado para a disciplina BIM Para Gestão 4D no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSCar.
- 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 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2015.

BONI, A. C.; PALIARI, J.C.; SERRA, S.M. Sistema puxado de planejamento e controle da produção. *In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)*, 15, Maceió, 2014. **Anais [...]**. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2014. Disponível em: <https://www.antac.org.br/anais-c1pyf>. Acesso em: 01 out. 2022.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006. 529 p.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil: uma abordagem baseada na mentalidade enxuta**. 2009. 339 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

COSTA, B. F. **Estudo sobre os ganhos obtidos com a adoção do last planner system aplicado ao planejamento e controle na construção de uma usina hidrelétrica de grande porte**. 2017. 85 p. Projeto de Graduação, Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola politécnica, Rio de Janeiro, 2017.

CLIMB CONSULTING. **Check-in e check-out: o 5º elemento do sistema last planner**. 2020. Disponível em: <https://www.climbgroup.com.br/post/check-in-e-check-out-o-5%C2%BA-elemento-do-sistema-last-planner>. Acesso em: 28 out. 2022.

DAWOOD, N.; MARASINI, R. An integrated database for real time management of stockyard stockMan: A case study in precast concrete products industry. *In: CIB W78 international conference, Mpumalanga*, 2001. **Proceedings...** Mpumalanga, 2001.

ELSAYED, E. A.; BOUCHER, T. O. **Analysis and control of production systems**. 2 ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1994.

FABRO, F.; BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T. FIREMAN, M. C. T. Diretrizes para planejar e controlar o processo de montagem de sistemas construtivos pré-fabricados de aço. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 505-524, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/91449>. Acesso em: 01 out. 2022.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; OLIVEIRA, L. F. M.; OLIVEIRA, K. A.; CARVALHO, M. S.; REICHMANN, A. P.; PASA, M., B.; WENDT, S. C. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Porto Alegre: UFRGS, 1999. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/198813?show=full>. Acesso em: 01 out. 2022.

FORMOSO, C.T. **A knowledge based framework for planning house building projects**. 1991. 327p. Thesis (Doctorate) - University of Salford - Department of Quantity and Building Surveying. Salford, 1991.

FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Apostila do núcleo orientado para inovação da edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741–754, 2009. DOI: [10.1016/j.ijpe.2009.07.002](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.07.002).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996.

HAMZEH, F.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Rethinking look ahead planning to optimize construction workflow. **Lean Construction Journal**, v. 1, n. 1, p. 15-34, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242112250_Rethinking_Lookahead_Planning_to_Optimize_Construction_Workflow. Acesso em: 01 de set. 2022.

HARRIS, R.; IOANNOU, P. Scheduling projects with repeating activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 269–278, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:4\(269\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:4(269)).

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 1 ed. New York: McGraw-Hill/Irwin 1996. 668 p.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. 2 ed. New York: McGraw-Hill/Irwin 2000. 698 p.

KASANEN, E.; LUKKA, K. The constructive approach in management accounting research. **Journal of Management Accounting Research**, n. 5, p. 243-264, 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305387423_The_constructive_approach_in_management_accounting_research. Acesso em: 01 set. 2022.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford University, v. 72, 1992. 81 p. Disponível em: <https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf>. Acesso em: 01 out. 2022.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Thesis (Ph.D) – Technical Research Center of Finland, Espoo, 2000. Disponível em: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2000/P408.pdf>. Acesso em: 01 set. 2022.

KOSKELA, L. On new foot notes to shingo. *In*: Annual conference internacional group lean construction, 9, Singapore, 2001. **Proceedings...** Singapore, 2001. Disponível em: <https://iqlc.net/Papers/Details/148>. Acesso em: 01 set. 2022.

KOSKELA, L. Is structural change the primary solution to the problems of construction? **Building Research and Information**, v. 31, n. 2, p. 85–96, 2003. DOI: [10.1080/09613210301999](https://doi.org/10.1080/09613210301999).

KOSKENVESA, A.; KOSKELA, L. J. Introducing last planner-Finnish experiences. *In*: Joint CIB international symposium-combining forces, 11, Helsinki, 2005. **Proceedings...** Helsinki, 2005. Disponível em: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1462681/introducing-last-planner-finnish-experiences>. Acesso em: 01 set. 2022.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, Vol. 5, London, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1080/01446198700000023>.

LESSING, J.; STEHN, L. **Industrialised house building - concept and processes**. Licentiate Thesis - Division of Design Methodology, Lund University, Sweden, 2006.

LESSING, J.; STEHN, L.; EKHOLM, A. Industrialised housing: definition and categorization of the concept. *In: Annual conference internacional group lean construction*, 13, Sydney, 2005. **Proceedings...** Sydney, 2005. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/394>. Acesso em: 01 set. 2022.

LORENZON, I. A. **A medição de desempenho na construção enxuta: estudos de caso**. 2008. 219 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

LUCKO, G.; ALVES, T. D. C. L.; ANGELIM, V. L. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and location-based scheduling. **Construction Management and Economics**, v. 20, n. 1. p. 1–20, 2013. DOI:[10.1080/01446193.2013.845305](https://doi.org/10.1080/01446193.2013.845305).

MAO, C.; ASCE, M.; SHEN, Q.; Pan, W.; Ye, K. Major barriers to off-site construction: the developer's perspective in China. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 3, p. 1–8, 2015. DOI: [10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000246](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000246).

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995. DOI: [10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).

MARCHESINI, J. H. B. **Aplicação da linha de balanço com ritmo fixo para o planejamento e gestão de obras de infraestrutura urbana**. 2021. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Curitiba, Paraná, 2021.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. *In: CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 47, Windsor, 2014. **Proceedings...** Windsor, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271019928_Synchronization_of_the_Manufacturing_Process_and_On-Site_Installation_in_ETO_Companies. Acesso em: 01 out. 2022.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 391 p.

MENDEZ, J. R., e HEINECK, L. F. M. Preplanning method for multi-story building construction using line of balance. *In: Annual conference internacional group for lean construction*, 6, Guarujá, 1998. **Proceedings...** Guarujá, 1998. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/53>. Acesso em: 01 out. 2022.

MENDES, R. J. **Linha de balanço – LOB, uma filosofia de programação de obras**. 1997. Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Santa Catarina, 1997.

MORAES, R. M. M. **Procedimentos para o processo de planejamento da construção: estudo de caso**. 2007. 160 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

O'BRIEN, W. J. et al. **Construction supply chain management handbook**. 1. Ed. New York: CRC Press, 2008.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988. 195 p.

OLHAGER, J. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319–329, 2003. DOI: [10.1016/S0925-5273\(03\)00119-1](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00119-1).

OLHAGER, J. The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. **Computers in Industry**, v. 61, n. 9, p. 863–868, 2010. DOI: [10.1007/978-3-7908-2747-7_2](https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2747-7_2).

OLIVEIRA, C. B. **Avaliação de indicadores de planejamento e controle da produção na construção: boas práticas, eficácia e prazo**. 2010. 196 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

PORWAL, V.; SOLIS, J. F.; LAVY, S.; Rybkowski, Z. K. Last planner system implementation challenges. *In: Annual conference internacional group lean construction*, 18, Haifa, 2010. **Proceedings...** Haifa, 2010. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/686>. Acesso em: 01 out. 2022.

RECK, R. H. **Aplicação do índice de boas práticas de planejamento em empresas construtora da região metropolitana de Porto Alegre**. 2010. 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SACKS, R.; AKINCI B.; ERGEN, E. 3D modeling and real-time monitoring in support of lean production of engineered-to-order precast concrete buildings. *In: Annual conference internacional group lean construction*, 11, Virginia, 2003. **Proceedings...** Virginia, 2003. DOI: <https://iglc.net/Papers/Details/266>.

SACKS, R; KOSKELA, L.; BHARGAV, D.; OWEN, R. Interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968-980, 2010. DOI: [10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203).

SEPPÄNEN, O.; BALLARD, G.; PESONEN, S. The combination of last planner system and location-based management system. **Lean Construction Journal**, v. 6, n. 1, p. 43-54, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228417459_The_Combination_of_Last_Planner_System_and_Location-Based_Management_System. Acesso em: 01 out. 2022.

SOARES, A. C. **Diretrizes para a manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. 2003. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SOUZA, A. L. C. **Investigação do planejamento diário no Sistema last planner de planejamento e controle da produção em empreendimentos da construção**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2021.

SCHRAMM, F. K. **Projeto de sistemas de produção na construção civil utilizando simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão**. 2009. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2009.

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. 2004. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo, Atlas. 2009.

TREBBE, M.; HARTMANN, T.; DORÉE, A. 4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors. **Automation in Construction**, v. 49, p. 83-91, 2015. DOI: [10.1016/j.autcon.2014.10.002](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.002).

TOMMELEIN, I. D.; WEISSENBERGER, M. More just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes. *In: Annual conference internacional group lean construction*, 7, Berkeley, 1999. **Proceedings...** Berkeley, 1999. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/87>. Acesso em: 01 out. 2022.

VIANA, D. D. **Integrated production planning and control model for engineer-to-order prefabricated building systems**. 2015. 265 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande Do Sul – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2015.

VARGAS, B. H. **Aplicabilidade do método da linha de balanço em obras industriais: estudo de caso para a obra industrial**. 2009. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Faculdade de Engenharia, Porto Alegre, 2009.

VARGAS, F. B.; FORMOSO, C. T. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.20, n.1, p.129-151, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000100366>.

VAN AKEN, J. E. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998. 428 p.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 10.ed. Rio de Janeiro: Elsevier. 332p., 2004.

YASSINE, T.; BACHA, M. B. S.; FAYEK, F.; HAMZEH, F. Implementing takt-time planning in construction to improve workflow. *In: Annual conference internacional group for lean construction*, 22, Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014. Disponível em: <https://iglc.net/Papers/Details/1023>. Acesso em: 01 out. 2022.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, 2003.

ZHAI, Y.; ZHONG, R. Y.; HUANG, G. Q. Towards operational hedging for logistics uncertainty management in prefabrication construction. **IFAC-Papers OnLine**, v. 48, n. 3, p. 1128-1133, 2015. DOI: [10.1016/j.ifacol.2015.06.235](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.235).

APÊNDICE 1 - FORMULÁRIO DE CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA

EMPRESA

1. Nome completo da empresa: Informação confidencial
2. Composição societária: Sociedade Empresária Limitada
3. Data de fundação: 14/06/1988
4. Endereço: Informação confidencial
5. Contato: Informação confidencial
6. Número de funcionários:
 - a. Próprios: 93
 - b. Terceiros: 21
7. Principais produtos: Serviços de execução construtiva
8. Principais clientes: Informação confidencial
9. Principais fornecedores: Informação confidencial
10. Certificações e datas: ISO _____ PBQP-H _____ A – B – C – D (Não Aplicável)
11. Atuação:
 - a. Incorporação e construção de edificações residenciais
 - b. Incorporação e construção de edificações comerciais
 - c. Obras residenciais para clientes privados
 - d. Obras industriais para clientes privados**
 - e. Obras públicas (edificações)
 - f. Obras públicas (infra-estrutura)
 - g. Obras públicas (HIS)
 - h. Outro: _____
12. Quantidade de obras em andamento: 3
13. Total de área em construção: 26.740,34m²

OBRA

Nome da Obra: Informação confidencial

Local: Anápolis - GO

Eng. Responsável: Informação confidencial

Contato: Informação confidencial

Data de Início: 25/08/2021 Previsão de conclusão: 13/09/2021

1. Tipo de Edificação:

- a. Edificação vertical
- b. Loteamento de casas
- c. Casa
- d. Loteamento de prédios
- e. Comercial
- f. **Outros: Industrial**

2. Natureza:

- a. Ampliação
- b. Reforma
- c. **Construção nova**
- d. Manutenção

3. Fase em que se encontra a obra:

- () fundações
- () acabamentos
- () estrutura
- (X) outra: *check list*

4. Características da obra:

Sistema Construtivo: Edificação mista (Estrutura pré-moldada, Estrutura metálica)

Maiores dificuldades enfrentadas: Fornecedores e empreiteiros

Número de mão de obra própria: No pico 60

Número de mão de obra terceirizada: No pico 70

Dia da semana de reunião do planejamento de curto prazo: Na sexta feira e todo dia era feito a reunião de *check-in check-out*.

Data em que ocorrem as reuniões de médio prazo (*lookahead*): Quinta Feira

APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Entrevistado: Informação confidencial

Cargo: Engenheiro de Planejamento

Tempo de atuação na empresa: 7 anos e 7 meses

Tempo de atuação na função: 1 ano e 1 mês

Data: 11/10/2021

- 1) Do seu ponto de vista quais foram as razões que impediram que os serviços fossem executados por etapa e na sequência definida na rede de precedência elaborada pelas pesquisadoras com participação da equipe de planejamento da obra para apoiar o Projeto do Sistema de Produção (PSP)?**

R: No meu ponto de vista para o serviço do pré-moldado, a empresa quis fabricar todas as peças que havia repetições de uma mesma fôrma, assim otimizar tempo em fábrica, mas não pensou na dificuldade da obra na questão de espaço e seguir uma sequência de montagem.

- 2) Por qual razão a obra não conseguiu usar o recurso da Linha de Balanço para apoiar o planejamento? Quais foram as dificuldades enfrentadas?**

R: Porque não houve a sequência planejada, a maior dificuldade foi com os subcontratados seguir com o planejamento executivo.

- 3) Por quais razões a rede de precedência não foi seguida em alguns momentos? Exemplos: no pavimento térreo, nas etapas C e D, a estrutura de forro foi executada depois do piso; além disso, na etapa A, os serviços de instalações, forro, sub-base e piso 6 toneladas aconteceram em paralelo. Essas ocorrências prejudicaram o fluxo de trabalho entre as equipes? Causou algum problema?**

R: A maior razão foi que os fornecedores não entravam no prazo programado, um exemplo óbvio foi o capeamento, não podíamos executar o forro no pavimento térreo pois a nata do concreto ia sujar toda a estrutura, então quando finalizado o capeamento, a equipe de estrutura metálica fez o içamento da estrutura de cobertura e na sequência iniciou a estrutura de forro do pavimento superior.

Quanto aos serviços de sub-base, optou-se em fazer no outro sentido pela área ser maior e a patrol ter mais espaço para trabalhar e ter raio de giro.

4) Qual a sua opinião em relação ao que foi produzido durante o estudo de caso? (rede de precedência, linha de balanço e *pull planning*)

R: São ferramentas que beneficiam muito no planejamento, apresenta de forma visual as atividades e consegue identificar onde há impactos com os serviços, além do que, a hora certa para iniciar cada atividade sem que haja interrupções.

5) Considerando o que foi produzido para o PSP da obra, o que você levaria para outro projeto? E o que você faria diferente?

R: Levaria todas as ferramentas utilizadas, todo o processo de produção. O que faria de diferente é contratar fornecedores comprometidos.

6) Você se sente satisfeito com o sistema de gestão de projetos oferecido (tecnologia oferecida) pela empresa?

R: Sim, o sistema ERP é muito colaborativo para todo o processo de gestão.

7) Houve dificuldade para elaborar o planejamento de médio prazo de forma colaborativa com os fornecedores?

R: Não, porém não havia comprometimento de um dos fornecedores de civil, e vimos a necessidade de dividir o escopo.

8) Como foi a participação, engajamento e comprometimento dos subcontratados no planejamento do projeto?

R: Os subcontratados sempre mantiveram o engajamento, com exceção de um fornecedor, empreiteiro civil que nunca se comprometeu com as datas que eram informadas.

9) As estimativas de prazo para execução das atividades foram muito diferentes do executado? Se sim, como foram estimadas?

R: Não, porém os serviços não iniciaram na data prevista, houveram atrasos e as gorduras foram consumidas antes mesmo de iniciar o serviço.

10) De que forma os efeitos da pandemia da COVID-19 interferiram no cumprimento dos prazos da obra?

R: Os maiores impactos que tivemos no período da pandemia foi o aumento significativo de aço além de sua escassez, o aumento significativo do combustível fez com que houvesse aumento em toda a cadeia de suprimentos.

ANEXO 1 – DADOS DA PESQUISA JUNTO AO CEP – UFSCAR

Título da Pesquisa: MODELO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA UTILIZANDO O SISTEMA LAST PLANNER (título inicial)

Pesquisadora: Maria Danielle Leão de Oliveira

CAAE: 47751621.0.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

Número do Parecer: 5.075.505

Situação do Parecer: Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP: Não