

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Diretrizes para o Planejamento e Controle da Produção em
Obras de Sistemas Construtivos Metálicos**

Fabiana Fabro

Porto Alegre
2012

Fabiana Fabro

**DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA
PRODUÇÃO EM OBRAS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
METÁLICOS**

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

Porto Alegre

2012

FABIANA FABRO

**DIRETRIZES PARA O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA
PRODUÇÃO EM OBRAS DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
METÁLICOS**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2012

Prof. Carlos Torres Formoso

Ph.D pela University of Salford, Grã-Bretanha - Orientador

Prof. Tarcísio Abreu Saurin

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Coorientador

Prof. Luiz Carlos da Silva Filho

Doutor pela University of Leeds, Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. José Antônio Valle Antunes Júnior (UNISINOS)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Maurício Moreira e Silva Bernardes (UFRGS)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)

Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

À minha mãe, pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Carlos Torres Formoso, pela sua orientação e dedicação, especialmente pela oportunidade que me deu ao permitir que eu realizasse esta pesquisa.

Ao professor Tarcísio Abreu Saurin, pelo acompanhamento e auxílio durante a realização desta pesquisa.

À minha amiga Daniela Dietz, pela amizade e pelas suas inúmeras contribuições para este trabalho e especialmente por todas as suas palavras de otimismo.

À minha mãe, Sonia Torres, por ser minha referência de vida e pelo incentivo e apoio incondicional em toda à minha vida. Ao meu pai, Paulo Fabro, pela vida. À minha irmã, Paula Fabro, pelo apoio e torcida.

Ao meu noivo, Henrique Borini Grigoli, meu amor e melhor amigo, pela compreensão e por me acompanhar e apoiar em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Às amigas e professoras Giovanna Gava, Leila Meneghetti e Edna Possan, que me incentivaram a iniciar o mestrado.

Aos meus amigos de turma de mestrado, pela amizade e apoio: Marcus Fireman, Daniele Tubino, Diana Ruge, Clarissa Biotto e Rafael Mascolo. Ainda, à amiga Amanda Gehrke, colorada, e à amiga Marcelle Bridi, gremista, por compartilharem comigo suas alegrias nos estádios.

A toda a família do NORIE, pelo acolhimento e pelas alegrias compartilhadas, principalmente aos amigos Luciana Cordeiro, Raquel Reck, Santiago Navarrete, Bruno Mota, Juliana Brito, Iamara Bulhões, Cristiane Pauletti, Gisele Reis, Lisiane Lima, Letícia Berr, Carina Stolz, Daniel Pagnussat, Eduardo Isatto, Luciana Miron, Rosana Dal Molin e a tantos outros que dividiram comigo este período.

Às auxiliares de pesquisa Gabriela Rocha, Paula Bañolas e Mariane Stivanin.

À CAPES e ao CNPq, pela bolsa de estudos que possibilitou a minha total dedicação por dois anos desta pesquisa.

A toda a empresa X pela disponibilidade e oportunidade para realização desta pesquisa, especialmente ao diretor, gerentes, coordenadores, engenheiros, analistas, projetistas que colaboraram para a realização deste estudo.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Àqueles que, por um lapso de memória não tenham aqui sido citados, sabem a importância que tiveram neste período da minha vida.

Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças.

CHARLES DARWIN

RESUMO

FABRO, F. **Diretrizes para o planejamento e controle da produção em obras de sistemas construtivos metálicos**. 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

No setor da construção civil, tem ocorrido um aumento na utilização de sistemas industrializados, dentre eles sistemas construtivos metálicos, visto que o uso desses sistemas contribui para o aumento da velocidade de execução dos empreendimentos e para a redução de desperdícios. Esta mudança tem criado oportunidades para a aplicação de conceitos e métodos de gestão da produção, desenvolvidos em outras indústrias, tais como a Filosofia da Produção Enxuta, que tem trazido muitos benefícios ao setor da construção, tais como redução de desperdícios, aumento da produtividade e da confiabilidade nos prazos de entrega. Entretanto, há poucas pesquisas sobre a utilização de conceitos da produção enxuta no processo de PCP de obras de empresas que fornecem sistemas construtivos metálicos. O presente trabalho tem como objetivo geral propor diretrizes para a concepção e implementação de sistemas de Planejamento e Controle de Produção em obras de empresas que projetam, fabricam e montam sistemas construtivos metálicos. São também propostas adaptações no Sistema *Last Planner* ao contexto de montagem deste tipo de sistema. A estratégia de pesquisa adotada foi a pesquisa-ação, sendo desenvolvidos cinco estudos empíricos em obras de uma empresa líder neste setor. O trabalho iniciou pela realização de um diagnóstico relativo aos fluxos de materiais e informações entre os principais setores da empresa, assim como análise do processo de planejamento e controle existente no processo de montagem. Na sequência, foram definidas e implementadas melhorias no processo de PCP em três obras da empresa. Os principais resultados obtidos pela pesquisa estão relacionados à necessidade de ampliação do escopo do projeto do sistema de produção, à adaptação dos níveis de planejamento de médio e curto prazo do Sistema *Last Planner* para este contexto, assim como à necessidade de integração do planejamento e controle do processo de montagem a outros processos à montante da obra. São também propostos diferentes tipos de sistemas de planejamento e controle da produção, em função da complexidade e do tamanho da obra.

Palavras-chave: planejamento e controle da produção; sistema *Last Planner*; projeto do sistema de produção; sistemas construtivos metálicos; implementação.

ABSTRACT

FABRO, F. **Diretrizes para o planejamento e controle da produção em obras de sistemas construtivos metálicos.** 2012. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

In the construction sector, there has been an increase on the use of industrialized building systems, including steel construction systems, due to the contribution of those systems in terms of reducing the duration of projects, and reduction of waste. This change has created opportunities for the application of production management concepts and methods that have been originated in other industries, such as the Lean Production Philosophy, which has brought several benefits for the construction sector, such as waste reduction, increase in productivity and reliability in delivery time. However, there have been only a few research studies on the application of Lean Production concepts on the production planning and control process of companies involved in the delivery of steel construction systems. The aim of this research work is to propose guidelines for the conception and implementation of production planning and control systems for projects delivered by companies that design, manufacture and assemble steel construction systems. Moreover, some adaptations in the Last Planner Systems are proposed for the context of assembling this type of system. Action research was the research strategy adopted in this investigation, which involved the development of five empirical studies in projects carried out by a Brazilian leading company. This investigation started by carrying out an analysis of the material and information flows among the main departments of the company, as well as by assessing the existing planning and control process for site assembly. Then, a set of improvements in that process were devised and implemented in three construction sites of the company. The main results of this research work are concerned with extending the scope of production system design, adapting the medium and short-term planning levels of the Last Planner System to this context, and integrating the planning and control process for site assembly with upstream processes. Moreover, different types of planning and control systems were proposed for different types of projects, according to their complexity and size.

Keywords: production planning and control; Last Planner System; production system design; steel construction systems; implementation;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de planejamento (adaptada de LAUFER e TUCKER, 1987)	39
Figura 2: Processo de Planejamento e Controle da Produção hierarquizado (adaptada de FORMOSO <i>et al.</i> 1999)	42
Figura 3: O processo de planejamento do Sistema <i>Last Planner</i> (BALLARD; HOWELL 1998)	43
Figura 4: Ciclo de aprendizagem pesquisa-ação (adaptada de SUSMAN; EVERED, 1978)	49
Figura 5: Delineamento geral da pesquisa	51
Figura 6: Primeiro ciclo de aprendizagem	52
Figura 7: Segundo ciclo de aprendizagem	53
Figura 8: Terceiro ciclo de aprendizagem	53
Figura 9: Quarto ciclo de aprendizagem	54
Figura 10: Fluxograma: Setores da empresa X	55
Figura 11: Observações participantes – estudos C, D e E	58
Figura 12: Simbologia utilizada para elaboração de diagramas de processo (adaptada ISATTO <i>et al.</i> , 2000).....	59
Figura 13: Frente de serviço - obra A.....	59
Figura 14: Implantação - obra A – galpão principal	60
Figura 15: Obra A – mezanino	60
Figura 16: Obra A – galpão B	61
Figura 17: Vistas lateral e frontal – obra B	63
Figura 18: Divisão de etapas - obra B.....	63
Figura 19: Vistas lateral e frontal - obra C.....	65
Figura 20: Divisão de etapas – obra C.....	65
Figura 21: Vistas laterais - obra D.....	67
Figura 22: Divisão de etapas – obra D galpão principal	67
Figura 23: Vistas laterais – obra E	69
Figura 24: Divisão de etapas – obra E	69

Figura 25: Mapeamento do processo de desenvolvimento do produto da empresa X.....	72
Figura 26: Pré-montagem treliças	76
Figura 27: Montagem estrutura principal.....	76
Figura 28: Montagem terças	76
Figura 29: Montagem das treliças semiespaciais.....	76
Figura 30: Perfilagem de telhas	76
Figura 31: Montagem telhas de cobertura.....	76
Figura 32: Montagem sistemas de iluminação, ventilação e calhas e arremates	77
Figura 33: Montagem estrutura e telhas de fechamento lateral.....	77
Figura 34: Exemplo de cronograma elaborado pelo setor de Planejamento	79
Figura 35: Pontos de estoque de materiais obras visitadas	80
Figura 36: Indicador de avanço físico	81
Figura 37: Indicador de avanço físico - obra A.....	82
Figura 38: Extrato do plano de longo prazo detalhado - obra A	83
Figura 39: Serviço de procura e transporte de material.....	84
Figura 40: Pré-montagem da treliça principal e das treliças planas (estrutura secundária) ..	85
Figura 41: Fluxograma - obra A – Montagem-etapa.....	86
Figura 42: Mapeamento: Montagem dos contraventos da cobertura - equipes T e U.....	87
Figura 43: Mapeamento de estoques e frentes de montagem - obra A.....	89
Figura 44: Extrato do plano de longo prazo detalhado - obra B	90
Figura 45: Extrato do documento de controle de entrega de materiais	92
Figura 46: Fluxograma - obra B – Montagem etapa.....	93
Figura 47: Retrabalho na viga de cobertura Z.....	94
Figura 48: Diagrama de processo de montagem de vigas de cobertura	95
Figura 49: Estoques de materiais.....	96
Figura 50: Mapeamento de estoques - obra B	97
Figura 51: LOB - obra B – Situação do planejamento da obra no período de acompanhamento	100

Figura 52: Recorte LOB - obra B – Situação simulação de concordância com o cronograma de entrega de materiais	101
Figura 53: Recorte LOB - obra B – Situação cenário ideal.....	102
Figura 54: Diagrama de precedência das atividades – obra C.....	107
Figura 55: Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção – obra C.....	108
Figura 56: Histograma de mão de obra – obra C	109
Figura 57: Segunda Linha de Balanço – obra C.....	110
Figura 58: <i>Layout</i> do canteiro – obra C.....	111
Figura 59: Primeiro modelo de planilha de curto prazo	114
Figura 60: Registro de atividades executadas, mas não planejadas – planilha de curto prazo	115
Figura 61: Pontos de estoque de materiais.....	115
Figura 62: IRRs1 - obra C.....	117
Figura 63: Restrições Identificadas por período e na primeira semana do período	117
Figura 64: PPC final – obra C	118
Figura 65: Causas da não conclusão dos pacotes de trabalho – obra C.....	119
Figura 66: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa estrutura secundária	120
Figura 67: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa estrutura principal	120
Figura 68: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa telhas	121
Figura 69 Avanço físico - pré-montagem das estruturas secundárias	122
Figura 70: Avanço físico - montagem das vigas principais.....	122
Figura 71: Avanço físico – montagem da cobertura	123
Figura 72: Diagrama de precedência das atividades – obra D.....	125
Figura 73: Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção – obra D.....	125
Figura 74: Linha de balanço fixada no escritório - obra D	126
Figura 75: Avanço físico - obra D – até a 9ª semana de obra	128
Figura 76: Novo modelo de planilha de curto prazo	129
Figura 77: PPC - obra D – até a 7ª semana.....	130

Figura 78: IRRs1 - obra D.....	131
Figura 79: Restrições identificadas por período e na primeira semana do período	131
Figura 80: PPC - obra D	132
Figura 81: Gráfico de causas acumuladas do não cumprimento dos pacotes de trabalho - obra D.....	133
Figura 82: Aderência ao lote de entrega - obra D – subetapa de estruturas	134
Figura 83: Aderência ao lote de entrega - obra D – subetapa de telhas.....	135
Figura 84: Aderência ao lote de planejamento - atividade de pré-montagem das vigas	136
Figura 85: Aderência ao lote de planejamento - atividade de montagem da cobertura	136
Figura 86: Deformações nas vigas.....	137
Figura 87: Atividade de alinhamento da estrutura de cobertura	137
Figura 88: Sequenciamento da unidade-base.....	139
Figura 89: Dimensionamento da capacidade das equipes e equipamentos	140
Figura 90: <i>Layout</i> do canteiro – obra E	140
Figura 91: Antiga divisão de subetapas	141
Figura 92: Nova divisão de subetapas	142
Figura 93: Histograma de mão de obra mais crítico	143
Figura 94: Histograma de equipamentos (plataformas e caminhões do tipo “Munck”)	143
Figura 95: <i>Buffer</i> de entrega de materiais	144
Figura 96: Plano de carregamento das subetapas.....	145
Figura 97: Avanço físico produção dos lotes de fabricação	147
Figura 98: Percentual de aderência dos lotes de fabricação	148
Figura 99: Classificação dos lotes de fabricação por peso.....	148
Figura 100: Percentual de aderência dos lotes de entrega	149
Figura 101: Diferenças entes os processos de PCP – categorias A, B e C.....	159

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OPORTUNIDADE PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA	18
1.2	CONTEXTO	18
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.4	QUESTÕES DE PESQUISA	22
1.5	OBJETIVOS	23
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	PRODUÇÃO ENXUTA	25
2.1	HISTÓRICO DA PRODUÇÃO ENXUTA	25
2.2	CONCEITOS BÁSICOS DA PRODUÇÃO ENXUTA	27
2.3	DIFERENÇAS ENTRE PRODUÇÃO PUXADA E PRODUÇÃO EMPURRADA	29
2.3.1	Conceitos de Estabilidade, Variabilidade e Confiabilidade	31
2.3.2	Relação entre Variabilidade, Incertezas e <i>Buffers</i>	32
2.4	A PRODUÇÃO NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO	33
3	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	35
3.1	INCERTEZAS QUE ENVOLVEM O PROCESSO DE PLANEJAMENTO	35
3.2	CRÍTICAS ÀS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE PLANEJAMENTO	36
3.3	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	38
3.3.1	Dimensão Horizontal	39
3.3.2	Dimensão Vertical	40
3.4	SISTEMA <i>LAST PLANNER</i>	42
3.4.1	Planejamento de Médio Prazo	43
3.4.2	Planejamento de Curto Prazo	44
3.5	O PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO	46

4	MÉTODO DE PESQUISA	49
4.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA	49
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	51
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA	54
4.4	FONTES DE EVIDÊNCIA E FERRAMENTAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	56
4.5	ESTUDOS EMPÍRICOS	59
4.5.1	Estudo Empírico A	59
4.5.2	Estudo Empírico B	62
4.5.3	Estudo Empírico C	64
4.5.4	Estudo Empírico D	66
4.5.5	Estudo Empírico E	68
5	DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DE PCP	71
5.1	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA EMPRESA	71
5.1.1	Processo de PCP existente nas obras da empresa	79
5.2	ESTUDO EMPÍRICO A	82
5.2.1	Diagnóstico do Processo de PCP da Obra A	82
5.2.2	Fluxograma das Atividades de Montagem	84
5.2.3	Diagrama do Processo de Contraventamento	86
5.2.4	Mapeamento dos Estoques	88
5.3	ESTUDO EMPÍRICO B	90
5.3.1	Diagnóstico do Processo de PCP da Obra B	90
5.3.2	Fluxograma do Processo de Montagem	92
5.3.3	Diagrama do Processo de Montagem das Vigas de Cobertura	94
5.3.4	Mapeamento dos Estoques	96
5.3.5	Linha de Balanço	98
5.4	DISCUSSÃO	103

6 RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PCP DE OBRA	106
6.1 ESTUDO EMPÍRICO C	106
6.1.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra C.....	106
6.1.2 Implementação do Sistema <i>Last Planner</i>	111
6.1.2.1 Planejamento e Controle em Nível de Médio Prazo	111
6.1.2.2 Planejamento e Controle em Nível de Curto Prazo	113
6.1.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico C	115
6.1.3.1 Redução das atividades que não agregam valor	115
6.1.3.2 Identificação e Remoção das Restrições.....	116
6.1.3.3 PPC e Indicador de Causas do Não Cumprimento dos Pacotes de Trabalho.....	118
6.1.3.4 Aderência ao Lote de Entrega.....	119
6.1.3.5 Avanço Físico.....	121
6.2 ESTUDO EMPÍRICO D.....	123
6.2.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra D.....	124
6.2.2 Implementação do Sistema <i>Last Planner</i>	126
6.2.2.1 Planejamento e Controle em Nível de Médio Prazo	126
6.2.2.2 Planejamento e Controle em Nível de Curto Prazo	128
6.2.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico D	130
6.2.3.1 Identificação e Remoção das Restrições.....	130
6.2.3.2 PPC e Indicador de Causas do Não Cumprimento dos Pacotes de Trabalho.....	132
6.2.3.3 Aderência ao Lote de Entrega.....	133
6.2.3.4 Avanço Físico.....	135
6.3 ESTUDO EMPÍRICO E	137
6.3.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra E.....	138
6.3.2 Implementação do Sistema <i>Last Planner</i>	146
6.3.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico E.....	147
6.4 DISCUSSÃO.....	150

6.4.1 Mudanças no Escopo de Decisões do PSP	150
6.4.2 Mudanças no Processo de PCP em nível de Médio e Curto Prazos	152
6.4.3 Diretrizes para a Implementação do Sistema <i>Last Planner</i>	153
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	156
7.1 CONCLUSÕES.....	156
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	160
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o escopo desta dissertação. Como esta pesquisa surgiu a partir do interesse de uma empresa na realização do trabalho, primeiramente é apresentada a oportunidade para a realização da pesquisa. Na sequência, é abordado o contexto no qual esta pesquisa se insere, seguido do problema de pesquisa. A partir deste, são apresentados as questões de pesquisa e os objetivos propostos. Por fim, é apresentada uma breve descrição da estrutura deste estudo.

1.1 OPORTUNIDADE PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A oportunidade de realização desta pesquisa deu-se pelo interesse de uma empresa de sistemas construtivos metálicos, denominada aqui de empresa X, em buscar melhorias no seu processo de Planejamento e Controle da Produção da montagem de obras, por meio de pesquisas acadêmicas em parceria com o Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A empresa X tem como escopo de atuação o projeto, a fabricação e a montagem de sistemas construtivos metálicos, oferecendo ao mercado soluções completas que utilizam seus produtos padronizados (elementos estruturais, telhas, calhas, sistemas de iluminação e ventilação e soluções para isolamento térmico e acústico). Esse conjunto de produtos padronizados é utilizado para compor cada projeto, a fim de atender às necessidades dos diferentes clientes, permitindo que sejam projetados e executados empreendimentos de diversos segmentos comerciais, como, por exemplo, galpões industriais, centros de distribuição, *shoppings* e aeroportos.

1.2 CONTEXTO

A partir da segunda Revolução industrial, no final do século XIX, surgiu a fabricação em larga escala, a qual, aliada à divisão do trabalho, constituiu o que ficou conhecido como o paradigma da produção em massa (HOPP; SPEARMANN, 1996). O paradigma da produção em massa

possui como características principais a busca pela alta produtividade, a proposição da divisão do trabalho, a especialização das tarefas gerenciais, o uso de grandes estoques: de matéria-prima, material em processamento e produtos acabados, além da produção em escala para obtenção de custos menores (ANTUNES JR., 1998). Este sistema de produção utiliza como estratégia produtiva a produção empurrada, na qual as ordens de produção são geradas em função de uma previsão de demanda, e cada um dos processos de fabricação normalmente apresentam um alto nível de estoques intermediários, permitindo que cada processo produza de maneira independente, sem considerar as necessidades dos processos seguintes (HOPP; SPEARMANN, 1996).

Posteriormente, a partir dos anos 50, surgiram novas ideias para a gestão da produção, oriundas das práticas observadas na *Toyota Motor Corporation*. Um dos objetivos principais do Sistema Toyota de Produção (STP) é eliminar os desperdícios existentes nos processos, principalmente pela redução dos estoques (LIKER, 2004; WOMACK *et al.*, 1992). Os conceitos e princípios que envolvem o STP, discutidos por Womack *et al.* (1992), foram disseminados para outros setores, sendo conhecidos como Filosofia da Produção Enxuta (*Lean Production*).

A produção *Just-in-time* (JIT) é um dos principais pilares da produção enxuta. Para Ohno (1997), *Just-in-time* significa que, em um processo, as partes corretas, necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária. Para que a produção *Just-in-time* ocorra é necessário que a produção seja puxada pela demanda do cliente, sendo esse um dos principais elementos operacionais do JIT (LIB, 2003). Segundo Hopp e Spearman (1996), um sistema puxado é aquele que autoriza a realização de uma tarefa em função do status do sistema, em oposição ao sistema empurrado, no qual a execução de uma tarefa é planejada a partir de uma projeção da demanda.

A partir do surgimento dessa nova abordagem, diversas publicações (LIKER, 2004; SPEAR; BOWEN, 1999; WOMACK *et al.*, 1992) relatam a implementação de conceitos e práticas da produção enxuta em indústrias de diferentes segmentos. Entre as principais melhorias resultantes da utilização dessa abordagem, destacam-se o aumento do volume de produção, por meio da eliminação de desperdícios existentes no processo, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução de custos e a produção puxada pela demanda do cliente (LIB, 2003; LIKER, 2004; WOMACK *et al.*, 2004).

No contexto da construção civil, a aplicação de conceitos e princípios originários da produção enxuta também vem sendo estudada (KOSKELA, 1992; FORMOSO, 1999; BALLARD; HOWELL, 1998; ALVES, 2000). Alguns destes trabalhos têm explorado a implementação desta filosofia a sistemas construtivos industrializados (TOMMELEIN, 1998, AKEL *et al.*, 2001; BALLARD; HARPER; ZABELLE, 2003; SACKS; AKINCI; ERGEN, 2003; BULHÕES, 2009), os quais têm assumido uma crescente importância em diversos países. Segundo Koskela (1992), a industrialização da construção tem sido uma das estratégias adotadas para modernização deste setor, resultando na transferência de alguns processos executados nos canteiros de obra, de maneira artesanal, para plantas industriais, nas quais é possível mecanizar processos e controlar melhor a qualidade dos produtos.

Lillrank (1995) salienta que, para transferir inovações gerenciais da produção enxuta para a construção civil, existe a necessidade de abstração dos conceitos e dos princípios, pois, para contextos diferentes, a simples cópia de experiências não é eficaz. Nesse sentido, Koskela (1992) afirma que a ineficácia observada nos métodos de planejamento implantados na construção civil ocorre, principalmente, em decorrência da falta de abstração dos princípios desenvolvidos na produção industrial, e pela não consideração das peculiaridades intrínsecas no ambiente da construção.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Sacks, Akinci e Ergen (2003), as empresas que oferecem produtos pré-fabricados na indústria da construção podem se beneficiar da aplicação da Filosofia da Produção Enxuta. De fato, os mesmos autores apontam que existem algumas similaridades entre os sistemas de produção destas empresas, tais como a dificuldade de puxar a produção de acordo com a demanda do cliente. Em um estudo realizado em empresas de pré-moldado de concreto, Sacks, Akinci e Ergen (2003) apontam que a produção de peças neste segmento tende a ser realizada com bastante antecedência em relação à montagem em obra, resultando em níveis de estoques relativamente grandes nos pátios das fábricas. Um dos principais fatores que contribuem para a formação de tais estoques de materiais é a falta de retroalimentação da obra para a fábrica, a fim de transmitir informações em tempo hábil sobre o real andamento do processo de montagem, para que, com base nessas informações, a produção dos setores a montante possa ser puxada (SACKS; AKINCI; ERGEN, 2003).

Ademais, o processo de gestão da montagem de empreendimentos que utilizam pré-fabricados é envolvido por incertezas. Howell, Laufer e Ballard (1993), classificam tais

incertezas em duas categorias: (a) aquelas provenientes de fatores externos à construção, como, por exemplo, variações da demanda de mercado, variações climáticas, alterações por parte dos clientes nos projetos e nos prazos da obra, atrasos de fornecedores e dificuldade em subcontratar empresas para a montagem da obra que possuam mão de obra qualificada e (b) aquelas provenientes de fatores internos da empresa, tais como alto grau de interdependência entre as atividades e produção baseada em previsões de demanda.

Neste sentido, devido à falta de ferramentas eficazes para reduzir a incerteza, relacionadas, por exemplo, ao recebimento de material no canteiro, uma das estratégias adotadas consiste em mobilizar recursos em quantidades suficientes para permitir que o trabalho tenha continuidade independente da sequência de entrega de novos materiais e da sequência de execução (HOWELL; BALLARD, 1996). Esta estratégia, apesar de viabilizar a utilização continuada da mão de obra e dos equipamentos, não garante que se produza o que é necessário, quando necessário, como preconizado na produção enxuta (HOWELL; BALLARD, 1996).

Ainda, a necessidade de utilização de *buffers* de materiais entre os processos causa um desbalanceamento entre as taxas da oferta de recursos (ritmo de fabricação) e as de consumo (ritmo de montagem) (BERNHOLD, 1989; KOSKELA, 1992). Para os referidos autores, estas taxas são difíceis de combinar, pois ambas são instáveis. Assim, um planejamento contínuo e integrado é necessário para sincronizar os processos da empresa de acordo com o ritmo da montagem das obras (LEMNA *et al.*, 1986; LAUFER *et al.*, 1992).

Segundo Howell e Ballard (1996), o sucesso no desenvolvimento de um empreendimento de empresas que produzem produtos pré-fabricados é alcançado com a gestão das incertezas durante a execução dos processos de fabricação e montagem dos produtos em canteiro. Neste sentido, o Sistema *Last Planner* tem sido muito utilizado no gerenciamento de obras desde o início dos anos 90 e contribui para a redução das incertezas dos processos produtivos da construção (BALLARD; HOWELL, 1997). O Sistema *Last Planner* pode ser entendido como o mecanismo que transforma o que deve ser feito naquilo que pode ser feito, formando um estoque de atividades prontas para serem executadas, a partir das quais serão compostos os pacotes de trabalho (BALLARD, 2000).

Contudo, no ambiente da construção é comum a execução do empreendimento sem que seja realizado um efetivo planejamento e controle da produção, incluindo a coordenação de recursos, controle de capacidades produtivas, liberação de ordens de serviço e controle das unidades de produção, tarefas comuns ao ambiente fabril (BERTRAND *et al.*, 1990, *apud*

BALLARD; HOWELL, 1998). Assim, é necessário aumentar a efetividade do processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) na construção civil, pois este cumpre um papel fundamental para que seja alcançado êxito na coordenação entre os vários intervenientes de um empreendimento (LAUFER; TUCKER, 1987; SINK; TUTTLE, 1993). Segundo Laufer *et al.* (1994), um bom processo de PCP facilita a compreensão das metas do empreendimento, aumenta a velocidade de resposta a mudanças futuras, fornece padrões para monitorar, revisar e controlar a execução do empreendimento, além de explorar a experiência acumulada da gerência, obtida com outros empreendimentos executados.

Entretanto, existem poucos estudos na literatura (TOMMELEIN; WEISSENBERGER, 1999) relativos ao processo de Planejamento e Controle da Produção em obras de empresas de sistemas construtivos metálicos, que integram em seu sistema de produção a elaboração de projetos, a fabricação dos produtos e a montagem do sistema. Esses sistemas produtivos possuem algumas características que aumentam a complexidade da atividade de planejamento e controle da produção, pois existem muitas fontes de variabilidade internas e externas ao processo produtivo, destacando-se a elevada variabilidade da demanda, produção baseada em previsões, necessidade de sincronizar a produção dos processos de projeto, fabricação e montagem e grande distância de transporte do material para a montagem do empreendimento. Assim, esta pesquisa tem como foco o processo de Planejamento e Controle da Produção em obras de sistemas construtivos metálicos.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

A partir da discussão apresentada nos itens anteriores, propõe-se a seguinte questão principal de pesquisa:

- Como realizar o planejamento e o controle da produção em obras de empresas que projetam, produzem e montam sistemas construtivos metálicos?

O desdobramento desta questão trouxe a seguinte questão secundária:

- Como aumentar a confiabilidade do processo de montagem da obra, a fim de criar condições favoráveis à produção puxada, no contexto de empresas que projetam, produzem e montam sistemas construtivos metálicos?

1.5 OBJETIVOS

A partir da questão principal de pesquisa, foi definido o objetivo principal do estudo:

- Propor diretrizes para a concepção e implementação de sistemas de Planejamento e Controle de Produção, baseados no Sistema *Last Planner*, em obras de empresas que projetam, fabricam e montam sistemas construtivos metálicos.

Tem-se como objetivo secundário da dissertação:

- Propor adaptações no Sistema *Last Planner* ao ambiente de montagem de sistemas construtivos metálicos.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. O presente capítulo analisou a motivação para a realização da pesquisa, o contexto no qual foi originado o problema de pesquisa e identificou as principais lacunas de conhecimento. A partir desta discussão, foram propostas as questões de pesquisa e os objetivos do estudo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica acerca da produção enxuta. Inicialmente é apresentado um breve histórico que retrata o surgimento dessa abordagem da gestão da produção e os principais conceitos relativos à produção enxuta, seguido por uma discussão sobre as diferenças entre a produção puxada e empurrada. Na sequência, é apresentado um panorama sobre as incertezas existentes nos processos produtivos, a utilização de *buffer* como um mecanismo de proteção a produção, sendo apresentadas algumas das peculiaridades da construção civil.

O capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os sistemas de planejamento e controle da produção na construção civil. Inicialmente são apresentadas críticas aos métodos tradicionais de PCP e as incertezas que envolvem esse processo; na sequência, apresentam-se considerações sobre o processo de PCP nas dimensões horizontais e verticais e o Sistema *Last Planner*. No final do capítulo, discute-se o Projeto do Sistema de Produção e a sua importância no processo de PCP.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa. O capítulo inicia com a descrição da estratégia de pesquisa e, em seguida, é exposto o delineamento do processo de pesquisa e os ciclos de

aprendizagem da pesquisa-ação realizada. Na sequência, é feita uma caracterização da empresa estudada e, por fim, são descritos os estudos empíricos realizados.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos ao longo da etapa de compreensão desta pesquisa. São apresentados os resultados dos estudos empíricos A e B, com os quais foi realizado um diagnóstico do processo de PCP das obras da empresa.

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos ao longo das etapas de desenvolvimento e consolidação deste trabalho. São apresentados os resultados dos estudos empíricos C, D e E, nos quais foi elaborado o projeto do sistema de produção e implementado o Sistema *Last Planner*. Além disto, no final do capítulo são mostradas as diretrizes para a implementação do Sistema *Last Planner* de controle da produção em empresas de estrutura metálica.

Por fim, o último capítulo apresenta conclusões e limitações deste trabalho, assim como as recomendações para pesquisas futuras. Neste capítulo são sintetizadas as principais contribuições desta pesquisa.

2 PRODUÇÃO ENXUTA

Neste capítulo são discutidos temas referentes à filosofia da produção enxuta. Primeiramente é apresentado um breve histórico que retrata como surgiu essa nova abordagem da gestão da produção. Em seguida, são apresentados alguns conceitos fundamentais da produção enxuta, os quais foram utilizados na realização deste trabalho. Posteriormente, é realizada uma discussão sobre as diferenças entre a produção puxada e a produção empurrada, sendo apresentado um breve panorama da relação entre as incertezas existentes nos processos produtivos e a utilização de *buffers* como um mecanismo de proteção a produção. Finalmente, na última seção são discutidas algumas características do modelo tradicional de gestão de empreendimento na construção civil, também são apresentadas algumas peculiaridades desse setor, além de discutida a teoria de gestão denominada TFV (transformação, fluxo e valor), a qual pode ser vista como alternativa ao modelo tradicional de gestão.

2.1 HISTÓRICO DA PRODUÇÃO ENXUTA

No Japão, no período após a Segunda Guerra Mundial, a economia estava devastada e o país passava por um período de reconstrução, no qual o mercado interno demandava muitos produtos, dentre eles veículos de diferentes modelos para serem utilizados no transporte de materiais, pessoas, alimentos e equipamentos (WOMACK *et al.*, 1992). No entanto, nessa época o volume de produção da indústria automobilística japonesa era baixo (WOMACK *et al.*, 1992). Assim, devido ao contexto econômico, o governo japonês tomou medidas visando aumento da produtividade do seu mercado interno, sendo que algumas eram de caráter protecionista, como, por exemplo, a proibição de investimento externo na indústria automobilística japonesa (WOMACK *et al.*, 1992). Essa ação, embora não tenha sido mantida por muitos anos, encorajou diferentes empresas japonesas a ingressar na indústria automobilística e, para aquelas que já atuavam no setor, a ampliar a sua produção (WOMACK *et al.*, 1992).

No entanto, no mesmo período, as indústrias japonesas, entre elas as automobilísticas, tiveram que se adaptar aos novos direitos trabalhistas conquistados pelos operários, direitos esses que refletiam em aumento dos custos produtivos, como, por exemplo, a garantia de emprego vitalício e as melhorias de condições de trabalho (WOMACK *et al.*, 1992). Neste sentido, diante do contexto socioeconômico do país que aumentava a necessidade de reduzir custos produtivos, o presidente da *Toyota Motor Company*, Kiichiro Toyoda, lançou um

desafio a Taiichi Ohno, seu engenheiro de produção (OHNO, 1997). O objetivo era que a Toyota chegasse aos mesmos níveis de produtividade das montadoras norte-americanas em um período de três anos (os níveis de produtividade norte-americanos eram cerca de 10 vezes mais altos do que os níveis japoneses), a fim de contribuir para a sobrevivência da indústria automobilística japonesa (OHNO, 1997).

Womack *et al.* (1992) destacam que, após ter realizado diversos estudos sobre os sistemas produtivos das indústrias automobilísticas ocidentais, Ohno percebeu que nesses sistemas produtivos, baseados principalmente em conceitos originários da produção em massa, havia muitos desperdícios que resultavam no aumento dos custos de produção. Ohno também verificou que a diferença de produtividade entre as indústrias automobilísticas ocidentais e as japonesas era muito grande para ser vista apenas como resultante da diferença entre os equipamentos de produção dessas empresas (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011). Assim, Ohno concluiu que as maneiras distintas de administrar a produção constituíam-se em um fator mais importante para o aumento da produtividade e do lucro do que os equipamentos que as organizações possuíam em suas linhas de produção (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011).

A partir de suas reflexões sobre os estudos dos sistemas produtivos ocidentais, em resposta ao desafio lançado pelo presidente da *Toyota*, Ohno optou por modificar o sistema de produção da *Toyota* por meio da aplicação de novos conceitos de gestão, os quais visavam principalmente à redução de desperdícios (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011). Foram adotados conceitos, fundamentalmente distintos do sistema de produção em massa, tais como o nivelamento da produção, o trabalho padronizado e a otimização do *layout* das fábricas (SHIMOKAWA; FUJIMOTO, 2011).

Assim, a evolução dessas novas ferramentas e conceitos de gestão, cuja finalidade era aumentar a produção eliminando os desperdícios existentes nos processos, originou o Sistema Toyota de Produção (STP) (LIKER, 2004; WOMACK *et al.*, 1992). Posteriormente, com a publicação do livro de Womack *et al.* (1992) intitulado *A máquina que mudou o mundo*, os referidos autores propuseram a expressão Produção Enxuta (*Lean Production*) como uma tentativa de generalizar o STP.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DA PRODUÇÃO ENXUTA

Ohno (1997) afirma que o Sistema Toyota de Produção possui dois pilares básicos: o *just-in-time* (JIT) e a automação (OHNO, 1997). Shingo (1996) define o *just-in-time* como a eliminação dos estoques, ou seja, os itens necessários para o processo acontecer chegam à linha de montagem no momento em que são necessários e na quantidade exata. Para Hopp e Spearman (1996), a inspiração para o desenvolvimento do sistema concebido por Ohno foram os sistemas dos supermercados americanos, os quais haviam se instalado no Japão em meados da década de 50, permitindo aos clientes obter o que é necessário, no momento necessário e em quantidade suficiente.

Contudo, Hopp e Spearman (1996) destacam uma diferença entre tais sistemas, visto que, em um supermercado, o estoque é reabastecido a partir de um depósito ou por meio de entregas, enquanto em uma fábrica a reposição exige a produção de uma estação de trabalho a montante. Neste sentido, o objetivo de Ohno era fazer com que cada estação de trabalho adquirisse os materiais necessários de estações de trabalho a montante no momento em que necessitavam (HOPP; SPEARMAN, 1996).

A automação, outro pilar do Sistema Toyota de Produção, é definido por Ohno como a automação das máquinas de modo que um trabalhador poderia operar simultaneamente várias máquinas (HOPP; SPEARMAN, 1996). Cada máquina possui um dispositivo que detecta e sinaliza automaticamente um problema, a fim de permitir que o operador interfira no processo no momento certo, evitando que o defeito propague-se pelo sistema produtivo (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Womack e Jones (1996) propuseram um conjunto de conceitos e princípios que buscam explicar a produção enxuta em um nível mais abstrato, usando a expressão mentalidade enxuta (*Lean Thinking*). Os referidos autores argumentam que os conceitos e princípios que fundamentam o Sistema Toyota de Produção podem ser aplicados a qualquer tipo de atividade, não necessariamente de manufatura. São cinco os conceitos básicos propostos por Womack e Jones (1996), os quais indicam de uma forma genérica a sequência para a implementação desta filosofia de produção, conforme segue:

- **Valor:** o conceito de valor está relacionado ao processo de identificação das necessidades dos clientes finais (ou internos), ou seja, seus requisitos, a fim de fornecer produtos que atendam e satisfaçam às necessidades dos clientes (WOMACK; JONES, 1996).

- **Fluxo de Valor:** segundo Womack e Jones (1996), a importância de entender o fluxo de valor relaciona-se com a necessidade de identificar as etapas de formação de valor, que pode referir-se à cadeia de suprimentos, a uma fábrica ou a um processo de produção específico. Rother e Shook (1999) definem fluxo de valor como toda ação (agregando valor ou não) necessária para a produção de cada produto. Para os autores, analisar um sistema sob a perspectiva do fluxo de valor significa levar em consideração o quadro mais amplo, e não apenas os processos individuais, a fim de identificar oportunidades de melhorar o processo produtivo como um todo. Ao examinar a formação de valor, Ohno (1997) divide as atividades de um sistema de produção em dois grupos, as que geram valor para o cliente e as que não geram valor, as quais podem ser consideradas como perdas. O que significa dizer que as perdas referem-se a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor (OHNO, 1997). Shingo (1996) aponta que a redução de perdas relaciona-se à crescente necessidade de reduzir custos, devendo a sua minimização ser obtida por meio da racionalização do emprego dos recursos de produção, tais como mão de obra, materiais e máquinas.
- **Fluxo Contínuo:** Rother e Shook (1999) definem fluxo contínuo como a produção de uma peça por vez, sendo que cada item passa de um processo para o seguinte sem interrupção. Ao ser introduzido em um sistema de produção, este princípio desencadeia uma série de mudanças em seus processos, pois, ao criar fluxo, as operações passam a ser conectadas, criando mais trabalho de equipe, rápido *feedback* quanto aos problemas de qualidade precedentes, controle sobre o processo e pressão para as pessoas solucionarem problemas rapidamente (LIKER, 2004). Processos em fluxo contínuo também trazem outros benefícios à empresa, pois resultam na redução de desperdícios, atrasos, tempo de espera, estoques e transporte, que são perdas comumente encontradas em sistemas tradicionais (produção em massa) (WANG *et al.*, 2009).
- **Puxar:** o fluxo de informações e materiais nos processos produtivos pode ser gerenciado por meio de diferentes formas de controle da produção. O mecanismo tradicional, muito utilizado por empresas da construção civil, é o sistema empurrado, ao passo que, sob o âmbito da produção enxuta, o sistema mais adequado é o puxado. O conceito de puxar a produção está relacionado à capacidade das empresas de desenvolverem, produzirem e distribuírem rapidamente seus produtos, a fim de atender a uma demanda do cliente, puxando esse processo produtivo (WOMACK; JONES, 1996). Tal conceito desempenhou importante papel no desenvolvimento desta pesquisa e, por isto, é discutido em mais profundidade no item 2.3.

- **Perfeição:** O conceito da perfeição está relacionado ao objetivo de manter e melhorar padrões de trabalho, por meio de pequenas melhorias graduais (KOSKELA, 1992). Womack e Jones (1996) associam a perfeição com a melhoria contínua (*kaizen*), obtida por meio do constante esforço de todos os envolvidos no sistema na redução de qualquer tipo de desperdício.

2.3 DIFERENÇAS ENTRE PRODUÇÃO PUXADA E PRODUÇÃO EMPURRADA

Para Hopp e Spearman (1996), o que diferencia o sistema puxado do empurrado é o mecanismo que desencadeia a realização do trabalho. Os referidos autores afirmam que em sistemas empurrados a produção é desencadeada com base em previsões de demanda, enquanto que em sistemas puxados a produção é autorizada com base no estado do sistema. No entanto, os mesmos autores afirmam que grande parte dos sistemas de produção das indústrias opera por meio de uma combinação de produção puxada e empurrada. Com relação ao sistema empurrado, Tommelein e Weissenberger (1999) caracterizam-no como o sistema no qual a produção ocorre em antecipação a uma necessidade, ou seja, com base em previsões de demanda.

Para Tommelein (1998), o controle da produção em sistemas empurrados geralmente visa a atingir aderência ao cronograma e supõe-se que todos os recursos necessários para executar uma atividade estão disponíveis no momento em que a atividade iniciar. Entretanto, a autora aponta que muitas vezes tais recursos estão parcialmente disponíveis, sendo que o produto em processamento necessita muitas vezes esperar em um estoque de trabalho em progresso (*Work in Progress – WIP*) até a chegada dos demais recursos para que a atividade possa então ser concluída. Os produtos que estão em espera podem sofrer danos ou tornarem-se obsoletos devido às inovações de projeto ou da concorrência de mercado e, ainda, resultar em congestionamento das linhas e em aumento do tempo de produção (*lead time* do produto) (KOSKELA, 1992).

Além disso, outra desvantagem apontada por Hopp e Spearman (1996) é que em linhas com elevado volume de estoque WIP haverá a redução da flexibilidade do sistema. Os referidos autores afirmam que esta perda de flexibilidade ocorre, pois as partes parcialmente produzidas não podem incorporar eventuais mudanças de projeto. Ainda, quando as linhas estão congestionadas, caso seja necessário alterar a programação da produção ou priorizar

a produção de algum produto específico, os materiais que estão em WIP têm que ser retirados da linha para liberar capacidade de produção (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Segundo Tommelein (1998), os sistemas empurrados tendem a gerar perdas, pois a programação da produção é realizada com base em uma estimativa e inclui fatores de correção, a fim de compensar de maneira antecipada as incertezas existentes no processo. Tais riscos podem ou não manifestar-se durante a execução do projeto e, quando se manifestam, os sistemas empurrados não têm meios eficazes para adaptar-se rapidamente às necessidades de mudanças de programação da produção – por outro lado, os sistemas puxados são mais flexíveis e conseguem adaptar-se ao novo contexto (TOMMELEIN, 1998). Womack e Jones (1996) definem o sistema puxado como aquele no qual o processo de planejamento e controle permite a tomada de decisão sobre volume de produção baseada na demanda real, a partir da solicitação do cliente final. Hopp e Spearman (1996) afirmam que em sistemas puxados o trabalho em progresso (WIP) é dimensionado estabelecendo-se um limite aceitável para o processo, evitando aparecimento de efeitos negativos ocasionados pelo seu excesso e proporcionando ao sistema aumento da flexibilidade de produção, devido à sua redução.

Em sistemas puxados uma característica que contribui para o aumento de flexibilidade é o fato de que a autorização para o início da montagem de produtos em linhas de produção que estão congestionadas é postergada pelo tempo necessário, a fim de manter o WIP sempre dentro dos limites aceitáveis (HOPP; SPEARMAN, 1996). Esta postergação permite que sejam introduzidas alterações na programação da linha de acordo com as prioridades reais de produção (HOPP; SPEARMAN, 1996). Portanto, um sistema puxado, quando adequadamente implementado, possui maior capacidade de fornecer serviço ao cliente dentro dos prazos contratados e com as características solicitadas (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Hopp e Spearman (1996) consideram ainda que um dos principais benefícios obtidos com a utilização de um sistema puxado é a redução do trabalho em progresso (WIP). Por outro lado, essa redução deixa o sistema muito mais sensível à variabilidade e, conseqüentemente, aumenta a necessidade de melhoria contínua, a fim de aumentar a estabilidade e a confiabilidade do sistema (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Uma ferramenta utilizada em muitos sistemas puxados é o *kanban*, que significa cartão em japonês, o qual é utilizado para gerenciar o fluxo de materiais na fábrica (HOPP; SPEARMAN, 1996). Segundo os referidos autores, em sistemas que utilizam o *kanban* a produção é desencadeada por uma demanda, a qual se origina do momento de retirada da última peça

do limite mínimo do estoque de uma estação de trabalho. Então, essa estação de trabalho envia um sinal de autorização de produção (informação) para a estação a montante, a qual produzirá novas peças, a fim de reabastecer o referido estoque (HOPP; SPEARMAN, 1996). Portanto, a Toyota implementou um sistema de reposição projetado para controlar as quantidades produzidas, no qual as peças retiradas são repostas apenas quando necessário e na quantidade certa (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Tommelein (1998) exemplifica a utilização de *kanban* durante a construção de um empreendimento no processo de instalação de *pipe spool* (seção pré-fabricada de um sistema de tubulação, que inclui tubos e conexões). Nesse exemplo, as equipes que executavam atividades no canteiro de obras que antecederiam a instalação do *pipe spool*, deveriam primeiramente concluir o seu trabalho em cada área, antes que fosse iniciada a instalação do *pipe spool*. Ou seja, o conjunto de locais prontos para receber a instalação ficava disponível no canteiro, sinalizando que, a partir daquele momento, a instalação do *pipe spool* poderia ser iniciada (TOMMELEIN, 1998).

2.3.1 Conceitos de Estabilidade, Variabilidade e Confiabilidade

O conceito de estabilidade é definido por Liker e Meier (2007) como a capacidade de produzir resultados coerentes ao longo do tempo, ao mesmo tempo em que também afirmam que a instabilidade é o resultado da variabilidade nos processos. Os processos produtivos operam com certa variabilidade, a qual pode ser inerente ao processo ou não, e pode fazer com que o produto seja produzido fora dos limites de especificação (LIKER; MEIER, 2007). Portanto, pode não ser possível eliminar totalmente a variabilidade, mas ela deve ser reduzida a fim de manter o processo estável, no qual os produtos produzidos estejam dentro das especificações exigidas (RAMOS, 2000).

Isatto *et al.* (2000) indicam que a variabilidade pode ser estudada sob o âmbito de dois focos principais: processo e produto. Com relação ao produto, do ponto de vista do cliente, um produto uniforme é mais aceito, enquanto com relação ao processo de produção existem três tipos principais de variabilidade: variabilidade no processo anterior que está relacionada aos fornecedores do processo, variabilidade no próprio processo no qual está relacionada a execução de um processo e variabilidade na demanda, relacionada aos desejos e necessidades dos clientes de um processo.

Neste sentido, Shingo (1996) destaca a padronização de procedimentos como o melhor caminho para conseguir reduzir a variabilidade, tanto na conversão para obtenção do produto quanto no fluxo do processo de produção.

Já a confiabilidade de um produto ou processo pode ser definida como a probabilidade de um componente não falhar durante o período de tempo previsto para a sua vida, em determinadas condições de uso (LAFRAIA, 2001). Assim, a obtenção da estabilidade depende da existência de certo nível de confiabilidade, visto que, se a mesma for insuficiente, o processo sofrerá interrupções indesejadas, e de um nível de padronização de produtos e processos, pois assim ocorre uma redução da variabilidade.

2.3.2 Relação entre Variabilidade, Incertezas e *Buffers*

Existem muitas fontes de incerteza que afetam a gestão da produção, incluindo flutuações de demanda, interrupções no processo de aquisição de matéria-prima, variações de produtividade, quebra de máquinas, ações da concorrência, entre outros (HOPP; SPEARMAN, 1996). Com a finalidade de proteger a produção das flutuações de demanda e incertezas relacionadas à produção, abordagens tradicionais podem ser utilizadas, como, por exemplo, estoques de segurança, os quais seriam aqueles de produtos prontos (Vollmann *et al.* (1992) *apud* (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Schmenner (1993) afirma que vários tipos de *buffer* são utilizados em sistemas produtivos como um meio de proteger a produção de incertezas, tais como o estoque de matéria-prima, de trabalho em progresso e o estoque de produtos acabados. Por outro lado, para Hopp e Spearman (1996), as incertezas podem ser analisadas por meio de diferentes cenários com atribuição de uma probabilidade de ocorrência, para que sejam definidas ações que visam a minimizar os seus impactos, incluindo a utilização de *buffers*.

Para Hopp e Spearman (1996), *buffer* são estoques de amortecimento dispostos entre os postos de trabalho, também utilizado para a proteção da produção contra a variabilidade existentes nos processos, sendo que uma abordagem frequentemente empregada no STP é a utilização de *buffer* de capacidade (HOPP; SPEARMAN, 1996). Os referidos autores definem o conceito de *buffer* de capacidade como a ação de programar a produção sem utilizar o limite da capacidade produtiva dos recursos, tais como: mão-de-obra e equipamentos, para com isso deixar uma folga de capacidade, a qual será utilizada para lidar com as interrupções inesperadas, tais como cancelamento de pedidos ou falhas de máquinas. No presente trabalho, são utilizados como *buffers* de atividades ou pacotes de trabalho, um dos elementos do *Last Planner System*, propostos por Ballard (2000), cujo objetivo é possibilitar a execução de atividades no canteiro de obras, mesmo quando, por alguma razão, as atividades inicialmente planejadas não podem ser executadas.

2.4 A PRODUÇÃO NO AMBIENTE DA CONSTRUÇÃO

A indústria da construção civil é frequentemente criticada, mesmo em países industrializados, por seus altos custos de produção, baixos índices de produtividade, grande incidência de problemas de qualidade, e falta de confiabilidade de prazos, problemas geralmente causados pela gestão ineficaz dos processos (KOSKELA, 2000).

Muitos destes problemas são apontados como consequência das peculiaridades do setor, tais como o caráter único de seus produtos, o longo período de realização e uso dos empreendimentos de construção, e a produção por encomenda (Koskela, 1992). Nam e Tatum (1988) *apud* Koskela (2000), por sua vez, chamam a atenção para elevado custo e a imobilidade do produto, ou seja, são as equipes e os equipamentos que se movimentam para que ocorra a produção. Já Warszawski (1990) *apud* Koskela (2000) destaca que cada projeto tem características distintas e baixo nível de padronização. Além disso, no momento da produção existem muitas tarefas que exigem dos operadores muitas habilidades manuais, tendo essa mão de obra normalmente alta rotatividade. Warszawski (1990) *apud* Koskela (2000) destaca também que a autoridade sobre o produto muitas vezes é dividida entre o investidor, os projetistas, o governo local e os subcontratados, o que, conseqüentemente, dificulta a tomada de decisões.

Koskela (2000) destaca que a evolução da tecnologia da construção, incluindo a grande variedade de materiais e componentes, as crescentes exigências por qualidade por parte do mercado, bem como a necessidade de reduzir as durações dos empreendimentos tendem a ampliar os problemas inerentes ao ambiente da construção (KOSKELA, 2000).

Do ponto de vista conceitual, Koskela (2000) afirma que o modelo tradicional de gestão de empreendimentos baseia-se fortemente no conceito de transformação, o qual considera a produção como a transformação de insumos em produtos e não reconhece a existência de outros fenômenos da produção. Além disso, Koskela (1992) assevera que alguns dos problemas no modelo tradicional relacionam-se com três categorias principais, sendo que a primeira é o método sequencial de realização do projeto, no qual as atividades são subdivididas em tarefas sequenciais distribuídas para especialistas as executarem. Essas divisões geram muitos fluxos físicos, os quais não são planejados e controlados, resultando em muito desperdício e aumento de custos (KOSKELA, 1992).

A segunda categoria de problemas é a insuficiente consideração dos requisitos dos clientes no processo de desenvolvimento do produto, o que pode resultar em produtos inadequados

ao mercado que são empurrados para os clientes (KOSKELA, 1992). Ademais, com relação à qualidade dos produtos poucos esforços são realizados a fim de eliminar defeitos e erros de operações, assim os processos possuem excesso de variabilidade e os produtos podem ser de baixa qualidade (KOSKELA, 1992).

A terceira categoria relaciona-se com o controle do sistema, no qual somente as partes do processo são controladas individualmente, ao invés do processo em sua totalidade. Assim, como o projeto é segmentado, falta um controle sistêmico do processo, o que resulta em uma baixa eficiência global (KOSKELA, 1992).

Ainda, Koskela (2000) destaca que a adoção do conceito de processo como transformação na prática profissional é uma das principais fontes dos problemas do setor (KOSKELA, 2000). O mesmo autor propôs uma teoria para explicar a produção, denominada TFV, segundo a qual a produção pode ser explicada por três conceitos principais: transformação, fluxo e valor. Para Koskela (2000), o processo de transformação é a reunião de uma série de operações que agregam valor ao produto, e que a produção pode também ser vista como um fluxo: além das atividades de transformação, existem atividades de espera (estoque), movimentação (transporte) e inspeção. Assim, ao enxergar a produção como um fluxo o foco deixa de ser apenas a realização de ações de melhorias nas atividades que geram valor, e passa a ser a redução das perdas associadas às atividades do fluxo (KOSKELA, 2000).

O terceiro conceito, denominado valor, assume que a produção é um meio para a satisfação das necessidades dos clientes. Sob essa ótica, a gestão da produção equivale a traduzir tais necessidades com precisão em uma solução de projeto e produção de produtos que estejam de acordo com o projeto especificado.

Nesse sentido, uma comunidade internacional, formada por acadêmicos e profissionais da indústria, denominado Grupo Internacional da *Lean Construction (IGLC)*, vem estudando a aplicação de conceitos originários do Sistema Toyota de Produção na indústria da construção (HOWELL, 1999), sendo que um tópico amplamente discutido pelo grupo é o Sistema *Last Planner* de planejamento e controle da produção. O Sistema *Last Planner* foi criado como uma alternativa ao planejamento tradicional, para trabalhar com os níveis tático e operacional da gestão de empreendimentos (BALLARD, 2000).

3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este capítulo apresenta uma base conceitual sobre sistemas de planejamento e controle da produção na construção civil, com destaque para o Sistema *Last Planner* de Controle da Produção e para a utilização do Projeto do Sistema de Produção como um mecanismo para o desenvolvimento do processo de PCP em nível de longo prazo. Inicialmente são apresentadas, além de uma breve discussão sobre a incerteza que envolve esse processo, no contexto da construção civil, críticas às ferramentas tradicionais empregadas para o planejamento e controle de obras. Na sequência, descreve-se o processo de Planejamento e Controle da Produção nas suas dimensões vertical e horizontal. Posteriormente, são apresentados os conceitos e as funções do Sistema *Last Planner* utilizados para estruturar o processo de PCP a médio e curto prazos. Por fim, discutem-se os benefícios de se desenvolver um projeto do sistema de produção na construção civil, buscando-se enquadrá-lo como uma atividade a ser desenvolvida em nível de PCP de longo prazo.

3.1 INCERTEZAS QUE ENVOLVEM O PROCESSO DE PLANEJAMENTO

Galbraith (1977) *apud* Cohenca *et al.* (1994) define incerteza como a lacuna existente entre a informação requisitada para desempenhar uma atividade e a informação que a organização dispõe. Para a construção civil, Howell *et al.* (1993) afirmam que existem quatro tipos básicos de incerteza que envolvem o processo de Planejamento e Controle da Produção: incerteza dos objetivos do empreendimento, incerteza acerca dos meios para atingir tais objetivos, incerteza relacionada ao fluxo de trabalho e incerteza a respeito da disponibilidade de mão de obra e recursos (máquinas e ferramentas). Desta maneira, a incerteza não deve ser considerada um estado excepcional em um empreendimento de construção, mas uma realidade inerente ao seu contexto, sendo a sua consideração indispensável para o sucesso do planejamento e do controle (LAUFER; TUCKER, 1988).

Laufer e Tucker (1988) apontam que os efeitos das incertezas podem ser minimizados, considerando-se que existe uma relação direta entre o horizonte de planejamento e a incerteza, ou seja, quanto mais longo o horizonte mais difícil tende a ser a previsão dos respectivos cenários e, logo, maior a incerteza. Assim, o grau de detalhamento dos planos deve variar inversamente com o horizonte de planejamento, isto é, quanto mais próxima a

data de execução, maior o grau de detalhamento necessário (LAUFER; TUCKER, 1988). Assim, devido às incertezas presentes no ambiente da construção, é importante que os planos sejam preparados em cada nível hierárquico com um grau de detalhamento apropriado (LAUFER; TUCKER, 1988).

Nesse sentido, Ballard e Howell (1997) criticam o processo de planejamento tradicional por gastar muita energia e recursos na elaboração de planos detalhados antes do início da obra. Tendo em vista que nesse momento muitas incertezas ainda envolvem o processo, há um grande risco que esse plano, também utilizado para controlar a execução da obra, fique rapidamente desatualizado, tornando-se ineficaz (BALLARD; HOWELL, 1997). Laufer e Tucker (1987) afirmam que outra maneira de absorver as incertezas dos processos é promover a flexibilidade no momento da tomada de decisão, por meio da utilização do *buffer* de capacidade.

No caso de se utilizarem *buffers* para combater os efeitos nocivos de incertezas, conforme apontado no item 2.3.1, os mesmos devem ser dimensionados considerando as incertezas intrínsecas ao processo, sendo que, à medida que aumenta a confiabilidade da produção, o tamanho do *buffer* deve ser reduzido, havendo, conseqüentemente, redução na duração do empreendimento (BALLARD; HOWELL, 1997).

Segundo Faniran *et al.* (1997), a elaboração de planos contingenciais também é uma maneira de adaptar o planejamento para que o mesmo possa responder a diferentes situações. Os planos contingenciais consistem na preparação de planos alternativos para responder a possíveis eventualidades, além de envolverem uma coleta adicional de informações e análises de situações hipotéticas para as quais os planos devem estar preparados (FANIRAN, *et al.*, 1997).

3.2 CRÍTICAS ÀS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE PLANEJAMENTO

Várias técnicas podem ser utilizadas para gerar o plano-mestre ou planejamento de longo prazo, destacando-se, entre elas, o Gráfico de Gantt, as redes ou diagramas de precedências e a Linha de Balanço. Os métodos de programação de rede com base no caminho crítico (CPM) são ferramentas importantes para a programação e o controle da produção de obras civis em geral. No entanto, existem muitas críticas na literatura em relação à utilização desse método (BIRREL, 1980; LAUFER; TUCKER, 1987; FORMOSO, 1991).

Os métodos com base no CPM foram desenvolvidos para o planejamento de sistemas de produção nos quais o controle de custos e o uso eficiente de recursos não eram prioridades em relação à duração do processo produtivo (BIRREL, 1980). Essas condições são diferentes do ambiente de planejamento necessário na indústria da construção, sendo esse um ponto-chave das críticas ao uso do CPM na construção (BIRREL, 1980).

Os planos gerados com a utilização de métodos CPM, via de regra, são excessivamente detalhados e, em geral, quanto maior o prazo entre a elaboração de um plano e da sua execução, maior tende a ser o nível de incerteza existente (FORMOSO *et al.*, 1999). Logo, os planos que apresentam a combinação horizonte de longo prazo com alto grau de detalhamento tendem a ser pouco eficazes (FORMOSO *et al.*, 1999).

Laufer e Tucker (1987) afirmam que uma das deficiências dos métodos baseados no CPM é a dificuldade de garantir a continuidade das operações no canteiro. Para os mesmos autores, a técnica enfatiza mais as restrições tecnológicas do que as restrições de recursos propriamente, permitindo que ocorram muitas interrupções no fluxo das operações no canteiro de obras. Outro aspecto deficiente desta técnica é a grande ênfase dada à programação formal do tempo das atividades, em detrimento da programação dos recursos (LAUFER; TUCKER, 1987). Ademais, os referidos autores citam que essa técnica, via de regra, pressupõe que a rede elaborada raramente sofrerá interferências. No entanto, não é possível prever quando haverá manifestação de incertezas e variabilidade (LAUFER; TUCKER, 1987).

Além disso, Koskela (1992) aponta que com a utilização desses métodos tradicionais são planejadas apenas as atividades de transformação, o que dificulta que sejam explicitadas as atividades de fluxo existentes nos processos. Assim, os fluxos de trabalho das equipes não são planejados, assim como os fluxos de materiais (KOSKELA, 1992).

Para Bernardes (2001), a técnica da Linha de Balanço é uma alternativa aos métodos tradicionais, sendo que a mesma permite visualizar a maneira como a produção será desenvolvida em termos de tempo e espaço. Segundo Limmer (1997), a Linha de Balanço é uma técnica gráfica que propõe um conjunto de linhas que informam sobre a produção e a duração de cada atividade repetitiva em um formato gráfico que pode ser facilmente interpretado tanto pelo pessoal de canteiro quanto pela equipe técnica. Além disso, Bernardes (2001) aponta que a técnica está mais diretamente relacionada a alguns conceitos básicos de gestão da produção, visto que a mesma explicita os fluxos de trabalho, os ritmos de produção,

as interferências entre as equipes e o tamanho do lote, contribuindo uma maior transparência do processo produtivo.

3.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Ackoff (1970) *apud* Laufer e Tucker (1987) definem planejamento como um processo de tomada de decisão que visa estabelecer um futuro desejado e meios eficazes para atingi-lo, ou seja, o planejamento deve responder a quatro questões fundamentais: O que deve ser feito (atividades)? Como as atividades devem ser executadas (métodos)? Quem deve desempenhar cada atividade e com quais meios (recursos)? Quando as atividades devem ser executadas (sequenciamento e durações)?

Formoso *et al.* (1999, p. 15) definem planejamento como “um processo gerencial que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo somente eficaz quando realizado em conjunto com o controle”.

O controle é indispensável, uma vez que a produção real nunca segue exatamente a produção planejada, mesmo que sejam usadas ferramentas sofisticadas de planejamento (HOPP; SPEARMAN, 1996). Por esta razão emprega-se a expressão Planejamento e Controle da Produção (PCP) para fazer referência ao processo como um todo (FORMOSO *et al.*, 1999). Neste sentido, Assumpção (1996) também propõe a divisão do PCP em duas partes: um sistema de programação, o qual gera informações na forma de expectativas de desempenho de ações futuras, e um sistema de controle, o qual gera informações sobre o comportamento de ações já implantadas, devendo existir uma interação entre os dois subsistemas por meio de ciclos de programação, controle e reprogramação.

Ainda, Laufer e Tucker (1987) consideram que o planejamento deve estabelecer os objetivos e os meios para atingi-los, enquanto para Formoso *et al.* (1999) a função controle deve ser efetuada em tempo real, pois seu papel é orientar a realização de ações corretivas durante a realização dos processos. Assim, muda-se o papel do controle de uma postura reativa para uma postura pró-ativa, na qual o conceito de controle expande-se para além da ideia de inspeção ou verificação, para, efetivamente, assumir o papel de correção (FORMOSO *et al.*, 1999). Ghinato (1996) aponta que a função controle deve ser aplicada na origem dos problemas e não sobre os seus resultados, incluindo ações corretivas em tempo real nos postos de trabalho, a fim de evitar que as atividades sejam realizadas de maneira incompleta ou concluídas com baixa qualidade.

Laufer e Tucker (1987) descrevem o processo de PCP com base em duas dimensões, uma horizontal e outra vertical, as quais representam respectivamente as etapas a serem seguidas no desenvolvimento do processo e os diferentes níveis hierárquicos nos quais os planos podem ser elaborados.

3.3.1 Dimensão Horizontal

Na dimensão horizontal, Laufer e Tucker (1987) apresentam as etapas do ciclo de planejamento e controle da produção e do ciclo de controle do próprio processo do PCP (Figura 1).

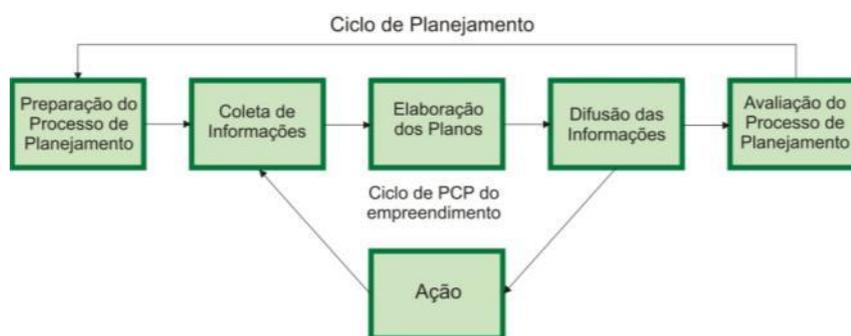


Figura 1: Ciclo de planejamento (adaptada de LAUFER e TUCKER, 1987)

Como pode ser visualizado na Figura 1, Laufer e Tucker (1987) consideram que a dimensão horizontal do PCP é dividida em seis etapas:

- **Preparação do Processo de Planejamento:** As decisões tomadas nesta etapa relacionam-se com as definições de padrões e procedimentos a serem empregados em todo o processo de planejamento, como, por exemplo, quais serão as técnicas de planejamento utilizadas, quais os recursos e o tempo necessário para a realização das próximas etapas do planejamento.
- **Coleta de Informações:** Esta fase refere-se à busca por diversos tipos de informações para posterior elaboração dos planos, as quais podem ser provenientes de contratos, projetos e especificações técnicas, informações sobre recursos internos e externos à produção, tecnologia construtiva, orçamentos, índices de produtividade de equipes de trabalho e de equipamentos, bem como informações sobre as metas e as restrições do empreendimento.

- **Elaboração dos Planos:** Nesta etapa são tomadas decisões baseadas nas informações coletadas na etapa anterior, com a utilização de técnicas de planejamento.
- **Difusão das Informações:** As informações devem ser transmitidas de acordo com as necessidades e as características dos envolvidos no processo.
- **Ação:** Durante o andamento da produção recomenda-se que os processos sejam monitorados, para que com as informações resultantes do monitoramento os planos possam ser revisados.
- **Avaliação do Processo de Planejamento:** Nesta etapa avaliam-se o processo de planejamento e o controle como um todo, visando à retroalimentação para empreendimentos futuros.

Laufer e Tucker (1987) utilizam essas etapas para caracterizar a existência de dois ciclos distintos na dimensão horizontal do PCP. O primeiro ciclo é o de planejamento composto pelas etapas de Preparação do Processo de Planejamento e de Avaliação do Processo de Planejamento. O segundo ciclo refere-se ao planejamento e ao controle do empreendimento, composto pelas etapas de coleta de informações, elaboração dos planos e difusão das informações e ação, devendo ser realizado de forma contínua.

3.3.2 Dimensão Vertical

Em função da incerteza e variabilidade inerentes aos empreendimentos de construção, Laufer e Tucker (1987) propõem que o processo seja dividido em diferentes níveis hierárquicos, sendo que o grau de detalhamento dos planos vai aumentando à medida que o nível torna-se mais operacional.

Neale e Neale (1986) *apud* Formoso *et al.* (1999) sugerem três níveis hierárquicos, estratégico, tático e operacional, os quais correspondem, respectivamente, aos horizontes de planejamento de longo, médio e curto prazos (FORMOSO *et al.*, 1999).

As decisões nos diferentes níveis hierárquicos, segundo Neale & Neale (1986) *apud* Formoso *et al.* (1999), podem ser caracterizadas da seguinte forma:

- **Estratégico:** relaciona-se com a definição de objetivos do empreendimento, baseado no perfil do cliente, tal como o prazo da obra.

- **Tático:** trata da seleção e da aquisição de recursos necessários para atingir os objetivos do empreendimento e também compreende a elaboração de um plano para utilização, armazenamento e transporte destes recursos.
- **Operacional:** compreende principalmente a definição detalhada das atividades a serem realizadas, seus recursos e momento de execução.

Laufer e Tucker (1987) denominam o plano gerado no nível estratégico de plano-mestre e ressalta que o mesmo tem como papel a definição dos objetivos principais do empreendimento. Como no horizonte de longo prazo, existem muitas incertezas no ambiente produtivo, devendo este plano ser pouco detalhado (LAUFER; TUCKER, 1987).

Para Formoso *et al.* (1999), o planejamento de médio prazo constitui-se em um segundo nível de planejamento tático, fazendo a vinculação entre o plano-mestre e os planos operacionais. Ainda, Formoso *et al.* (1999) destaca que o planejamento de curto prazo ou operacional tem o papel de orientar diretamente a execução da obra, estabelecendo, a partir das atividades programadas no planejamento de médio prazo, atividades em lotes menores, designadas como tarefas ou pacotes de trabalho. Assim, prepara-se uma programação detalhada para controlar a produção em um curto prazo (HOPP; SPEARMAN, 1996).

A Figura 2 mostra o modelo de processo de planejamento proposto por Formoso *et al.* (1999), o qual integra a dimensão vertical com a horizontal. No modelo de Formoso *et al.* (1999), as etapas de preparação e avaliação do processo geralmente são feitas uma vez para todos os níveis gerenciais, enquanto as etapas de coleta de informações, preparação do plano e difusão das informações ocorrem em cada um dos diferentes níveis gerenciais. Os mesmos autores sugerem que para cada nível devem ser definidos os principais intervenientes, as entradas e saídas de dados, as ferramentas a serem utilizadas e o nível de detalhamento dos planos.

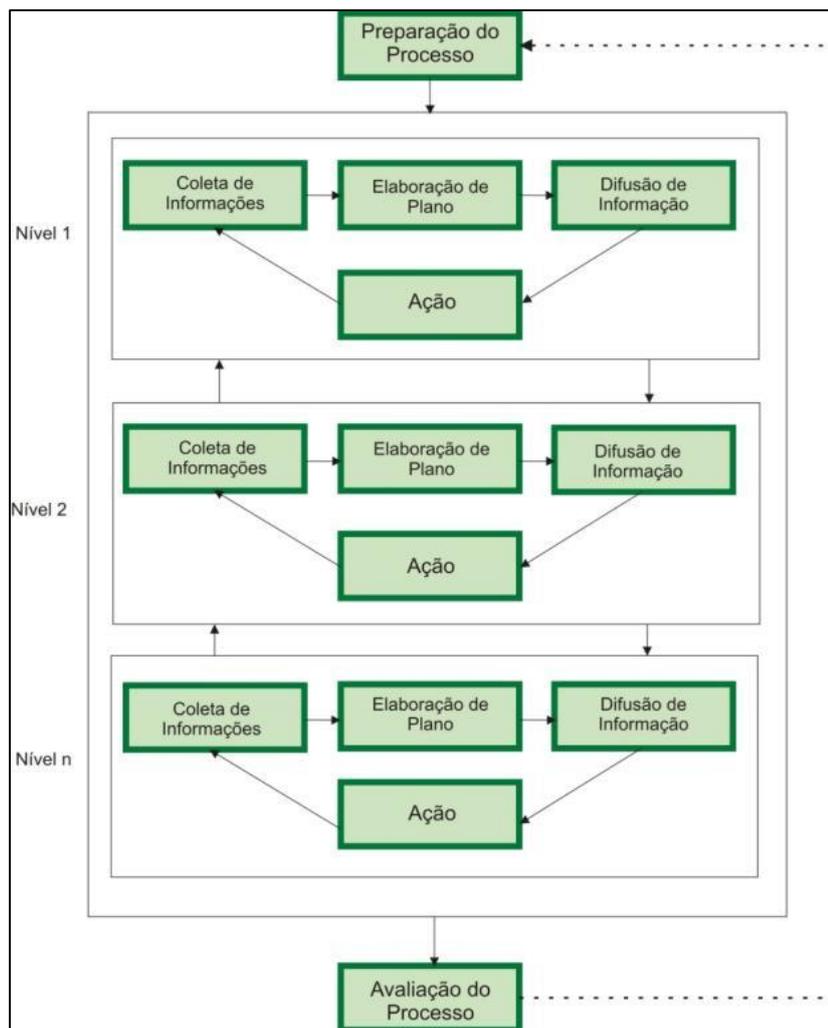


Figura 2: Processo de Planejamento e Controle da Produção hierarquizado (adaptada de FORMOSO *et al.* 1999)

3.4 SISTEMA LAST PLANNER

O Sistema *Last Planner* (LPS) foi criado como uma alternativa ao planejamento tradicional, tendo seu escopo limitado aos níveis tático e operacional da gestão de empreendimentos (BALLARD, 2000). É uma abordagem participativa de planejamento na qual são envolvidas pessoas de distintos níveis gerenciais e em momentos diferentes do empreendimento para a realização do processo de PCP em nível de médio e curto prazos (BALLARD, 2000).

Para Formoso *et al.* (1999), a eficácia do planejamento e controle da produção pode ser incrementada se houver a participação de várias pessoas, incluindo um profissional com tempo disponível para processar os dados coletados e gerar planos de obra, o gerente de produção, que é o principal tomador de decisões, mestre de obras, subempreiteiros, equipe

de suprimentos, entre outros. Ademais, Formoso *et al.* (1999) destacam que no processo de planejamento tradicional a incerteza, inerente ao processo de construção, é frequentemente negligenciada, sendo que muitas pessoas têm a errônea expectativa de eliminá-la por meio de um estudo detalhado das atividades e operações, já nas etapas iniciais do empreendimento. Os referidos autores também apontam que a incerteza é inerente ao processo de construção em função da variabilidade do produto e das condições locais, da natureza dos seus processos de produção, cujo ritmo é controlado pelo homem, e da própria falta de domínio das empresas sobre seus processos.

Ballard (2000) propõe, no nível de médio prazo do LPS, um mecanismo de proteção da produção, o qual transforma as atividades que **devem** ser feitas em atividades que **podem** ser feitas (Figura 3). Essa transformação ocorre por meio da formação de um *buffer* de atividades livres de restrições. Esse *buffer* é composto por tarefas prontas para serem executadas, pois todos os recursos já estão disponíveis (BALLARD; HOWELL, 1995). Assim, referidas tarefas podem ser puxadas pelo planejamento de curto prazo para compor o plano operacional (BALLARD, 2000).

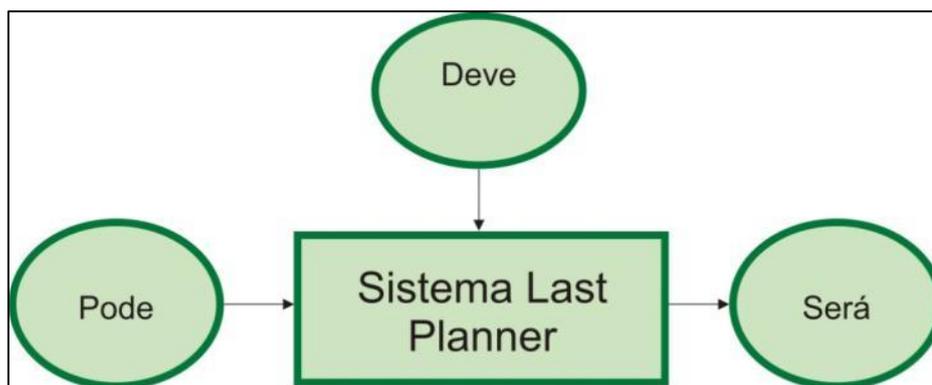


Figura 3: O processo de planejamento do Sistema *Last Planner* (BALLARD; HOWELL 1998)

No entanto, se o *buffer* de atividades livres de restrições não for corretamente utilizado, as incertezas e as variabilidades dos fluxos de recursos poderão afetar negativamente a execução das tarefas, gerando aumento de tempos não produtivos e desmotivação da força de trabalho (BALLARD; HOWELL, 1998).

3.4.1 Planejamento de Médio Prazo

Ballard (1997) denomina o planejamento de médio prazo de *Lookahead Plan*, pois, por intermédio deste olha-se à frente em um determinado horizonte de planejamento, cujo dimensionamento é realizado de acordo com cada projeto e suas características.

Para que o planejamento de médio prazo possa ser capaz de gerar um estoque de atividades prontas para serem executadas, é necessário que, primeiramente, as restrições sejam identificadas e removidas (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Para Codinhoto (2003), restrições são atividades gerenciais, necessidades físicas, financeiras e de informações de projeto que, se não removidas no momento, na quantidade e especificações corretas, impedem a programação das atividades relacionadas às mesmas. Além disso, o mesmo autor cita que para cada atividade deve ser designado um responsável para removê-las e uma data-limite para a remoção.

Tommelein e Ballard (1997) afirmam que devem ser realizadas várias ações neste nível de planejamento, a fim de garantir que antes da data prevista de execução das atividades os recursos estejam disponíveis, ou seja, existe um mecanismo de puxar (*pull*) os recursos necessários para viabilizar a realização de tais processos, nas condições previstas. Após a remoção das restrições, as atividades do plano de médio prazo podem ser liberadas para a programação em nível operacional, sendo que essa prática contribui para o aumento da confiabilidade dos planos de curto prazo (BALLARD, 2000).

Formoso *et al.* (1999) afirmam que a realização do planejamento de médio prazo é tipicamente de responsabilidade da gerência da obra e em cada ciclo de planejamento devem ser geradas informações que podem ser utilizadas para avaliar o andamento da obra. Essa retroalimentação contribui para manter a consistência entre os vários níveis de planejamento (FORMOSO *et al.*, 1999). Os mesmos autores sugerem também que, em obras muito rápidas ou com elevado grau de incerteza, o ciclo de planejamento de médio prazo pode ser mais curto, a fim de manter a proteção à produção.

As principais decisões tomadas no planejamento de médio prazo para Ballard (1997) são a de estudar de forma detalhada métodos para a execução das atividades, gerar um estoque de atividades sem restrições prontas para serem executadas e facilitar a identificação da carga de trabalho e dos recursos necessários que atendam o fluxo de trabalho estabelecido.

3.4.2 Planejamento de Curto Prazo

O planejamento neste nível tem forte papel de engajamento das equipes com as metas estabelecidas e, por isto, é denominado *commitment planning* (planejamento de comprometimento) (BALLARD; HOWELL, 1998). Esse engajamento pode ser alcançado com a realização de breves reuniões periódicas com a participação do gerente da obra, mestres de obras e subempreiteiros, dentre outros (CONDINHOTO, 2003).

Segundo Formoso *et al.* (1999), neste nível o ciclo de planejamento e controle pode ser diário, semanal ou quinzenal, e a cada reunião ocorre uma etapa importante do controle, que é a identificação das tarefas não concluídas e das suas causas. Para avaliar o desempenho do sistema podem ser utilizados alguns indicadores, dentre eles dois se destacam, os quais foram propostos por Ballard e Howell (1997). O primeiro é utilizado para avaliação da eficácia do planejamento e denomina-se PPC (Percentual do Planejamento Concluído), cujo cálculo é demonstrado a seguir (equação 1).

$$\text{PPC (\%)} = \text{AT}_{100\%} / \text{AT}_{\text{plan}} \quad (1)$$

Onde:

PPC (%) - Percentual do Planejamento Concluído;

AT_{100%} - Quantidade de atividades de produção integralmente executadas, presentes no plano semanal; e

AT_{plan} - Quantidade total de atividades programadas no plano semanal.

O segundo indicador refere-se à identificação das causas da não conclusão dos pacotes planejados, que pode ser gerado ao final de cada ciclo de planejamento e acumulado ao longo de vários ciclos. Esse indicador tem um importante papel na retroalimentação de todo o processo de planejamento e controle (FORMOSO *et al.*, 1999).

Ballard e Howell (1997, 1998) e Ballard (2000) apresentam algumas diretrizes para a realização do planejamento de curto prazo:

- A partir dos pacotes liberados pelo planejamento de médio prazo, verificar quais são os prioritários, isto é, os que devem ser executados primeiro. Para realizar essa priorização, podem ser utilizadas as informações trazidas pelo pessoal da produção, sobre as condições do canteiro, das equipes, dos ritmos, a fim de constatar quais pacotes eles de fato se comprometerão a executar no próximo período.
- Verificar também quais pacotes não foram executados completamente no ciclo de planejamento anterior e, se forem prioritários, incluí-los no novo planejamento de curto prazo.
- Averiguar o efetivo de mão de obra disponível para o período seguinte, considerando as possibilidades de absenteísmo. Essa tarefa será realizada de maneira eficaz se, em nível de planejamento de médio prazo, tenha sido estabelecido um equilíbrio entre a carga de trabalho e a capacidade produtiva.

- Distribuir os pacotes de trabalho de cada dia para as equipes, em ordem de prioridade, até que todo o efetivo tenha atividades para realizar durante o período planejado.
- Se sobrarem pacotes que podem ser executados e a equipe já estiver com sua capacidade comprometida, os mesmos devem ser planejados como tarefas suplentes. Esse é um dos mecanismos do sistema para conviver com as incertezas e variabilidades existentes no ambiente da construção, pois tais atividades suplentes serão executadas caso algum imprevisto ocorra durante a execução de outros pacotes, de maneira a evitar que a produção seja interrompida.
- Finalmente, com as informações obtidas com o processo de controle do planejamento anterior, são gerados indicadores de processo.

3.5 O PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Gaither e Frazier (2001) afirmam que, ao se projetar um sistema de produção, busca-se delinear e descrever os processos específicos a serem utilizados na produção. O resultado desses estudos é a determinação das etapas do processo tecnológico que será utilizado e as ligações entre as etapas; a escolha dos equipamentos, o projeto de construções, o arranjo físico (*layout*) das instalações e a necessidade de pessoal, suas habilidades e o nível de supervisão (GAITHER; FRAZIER, 2001).

Schramm (2009) destaca que o Projeto do Sistema de Produção (PSP) deve ser encarado como uma atividade de gestão da produção que apresenta interfaces tanto com o processo de desenvolvimento do produto quanto com o processo de Planejamento e Controle da Produção. Portanto, o PSP pode ser entendido como um dos elos entre o produto a ser produzido e o sistema de produção que o produzirá, estruturando-o de forma a tornar o processo de Planejamento e Controle da Produção mais simples e efetivo (SCHRAMM, 2009). Ballard *et al.* (2001) afirmam que o propósito fundamental do PSP é fazer com que o fluxo de trabalho seja mais confiável e rápido, enquanto se entrega valor para o cliente. Esses autores também destacam que criar condições para controlar e melhorar o sistema de produção é umas das principais funções do PSP.

Ballard, Harper e Zabelle (2003) sugerem que sistemas de produção são projetados para alcançar três metas fundamentais: entregar o produto, maximizar valor e minimizar desperdício. Schramm (2004), por sua vez, cita que o processo de elaboração do PSP deve ser iniciado antecipadamente em relação ao início das atividades de produção. Para

Koskela (2000), o PSP contribui com a redução dos fatores que impactam negativamente os sistemas produtivos, como, por exemplo, variabilidade e incertezas.

Schramm (2004) propôs um modelo para o desenvolvimento do PSP com base em estudos realizados em empreendimentos habitacionais de interesse social, sendo que as etapas propostas no trabalho adequaram-se a outros empreendimentos com características repetitivas, as quais são:

- **Definição da sequência de execução e dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base:** A unidade-base de produção é uma unidade repetitiva, como, por exemplo, um pavimento, uma casa, conforme as características do empreendimento estudado. Nesta etapa a partir da coleta de informações preliminares sobre o empreendimento, é realizada a definição da sequência de execução da unidade-base de produção e de pré-dimensionamento dos recursos de produção utilizados na sua execução. Também são tomadas decisões relacionadas ao nível de integração vertical, quais materiais ou processos serão executados pela empresa ou adquiridos de fornecedores externos, bem como a seleção dos materiais, dos sistemas construtivos e dos equipamentos a serem utilizados.
- **Estudos dos fluxos de trabalho da unidade-base:** Nessa etapa busca-se estabelecer os fluxos de trabalho na unidade-base de produção, que se referem ao conjunto de operações realizadas pelas equipes de trabalho na sua execução com relação às dimensões espaço/tempo, identificando possíveis interferências entre equipes. Nesta etapa pode ser utilizada a técnica da Linha de Balanço.
- **Definição da Estratégia de Execução do Empreendimento:** Nesta etapa são geralmente simuladas e analisadas inúmeras alternativas de execução, formalizadas no plano de ataque do empreendimento, dentre as quais a mais adequada é escolhida, em função sobretudo de aspectos como: impacto no prazo final do empreendimento, limites de capacidade de produção e viabilidade financeira da opção escolhida.
- **Estudo dos Fluxos de Trabalho no Empreendimento:** As informações provenientes do estudo dos fluxos de trabalho na unidade-base e do plano de ataque do empreendimento permitem a elaboração do estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento, que também é realizado utilizando a técnica da Linha de Balanço. O objetivo principal é considerar um plano que permita um fluxo ininterrupto das equipes de produção, a partir da sincronização entre processos.

- **Dimensionamento da Capacidade dos Equipamentos e Mão de Obra:** Com base no estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento e nos dados do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos realizado na primeira etapa, é possível dimensionar a necessidade de capacidade de recursos de produção para a produção do empreendimento.
- **Identificação e Projeto dos Processos Críticos:** Embora deva ser dada atenção a todos os processos que compõem o sistema de produção, os processos críticos, que são aqueles cuja capacidade individual limitava ou poderia vir a limitar a capacidade de todo o sistema produtivo, merecem maior atenção quanto à sua execução. Assim, por meio da elaboração do seu projeto, busca-se minimizar os efeitos negativos que os mesmos possam vir a acarretar ao sistema.

O modelo de PSP proposto por Schramm (2004) foi utilizado como referência no presente trabalho para realizar o Projeto do Sistema de Produção, seguindo-se o escopo das decisões que o compõem.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve o desenvolvimento do processo de pesquisa. Primeiramente, é apresentada a estratégia e o delineamento da pesquisa. Na sequência, é caracterizada a empresa estudada e são descritas as ferramentas utilizadas para coleta e análise dos dados. Por fim, são descritos os cinco estudos empíricos realizados (A, B, C, D e E) na mesma empresa, e apresentadas as fontes de evidências utilizadas para coleta de dados.

4.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

A partir do interesse da empresa estudada em melhorar seu processo de PCP em obra e da necessidade de desenvolvimento de estudos empíricos inseridos nesse processo, decidiu-se adotar como estratégia de pesquisa a pesquisa-ação, por constituir-se em uma abordagem que permite ao pesquisador participar do fenômeno observado (THIOLLENT, 2005).

O psicólogo alemão Kurt Lewin introduziu essa estratégia de pesquisa em 1946 com o objetivo de superar a lacuna entre a teoria e a prática, sendo essa uma maneira de fazer pesquisa em situações em que o pesquisador também participa da prática e deseja melhorar a compreensão da mesma (SUSMAN; EVERED, 1978). Neste sentido, Dick (1992) aponta que a pesquisa-ação tem dois objetivos: a ação para trazer mudança nas organizações e a pesquisa para aumentar o entendimento do tema em estudo. Eden e Huxham (1996) afirmam que uma dimensão importante dessa estratégia de pesquisa é a existência de intervenção do pesquisador na organização estudada, mediante um processo cíclico composto por até cinco fases (Figura 4). No ciclo, as fases finais (Avaliação e Reflexão) são usadas para aprimorar os resultados das fases anteriores (Planejamento e Ação) e, a partir da realização dos ciclos de aprendizagem, as soluções são refinadas.

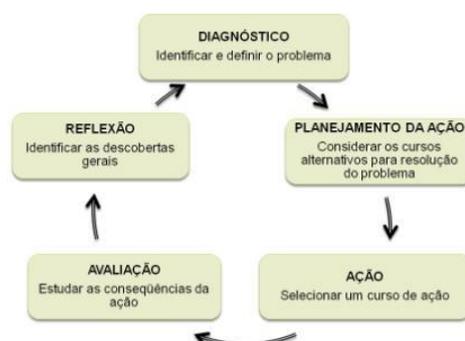


Figura 4: Ciclo de aprendizagem pesquisa-ação (adaptada de SUSMAN; EVERED, 1978)

A pesquisa-ação é originária das Ciências Sociais, cujo foco original é descrever e interpretar experiências humanas, sendo que os resultados devem promover mudanças sociais (SUSMAN; EVERED, 1978). Entretanto, segundo Van Aken (2004) e Jarvinen (2007), há diversos trabalhos que adotam a pesquisa-ação como estratégia de pesquisa com um caráter mais prescritivo, assemelhando-se ao processo de pesquisa desenvolvido nas ciências do *design* (*Design Science Research*).

Van Aken (2004) destaca que as ciências do *design* têm a missão de desenvolver conhecimento para solucionar problemas práticos do mundo real. Neste sentido, o objetivo principal dessas pesquisas é construir um artefato (inovações) para resolver problemas práticos, ou seja, prescrever soluções, as quais são também testadas (JARVINEN, 2007).

Jarvinen (2007) descreve algumas características da nova abordagem da pesquisa-ação, as quais a tornam mais similar às ciências do *design*: na pesquisa-ação existe uma preocupação com a utilidade do futuro sistema, sob o ponto de vista das pessoas; produz conhecimento para guiar mudanças na prática; significa tanto agir, quanto avaliar; é realizada por meio da colaboração entre o pesquisador e o sistema estudado; modifica uma realidade ou desenvolve um novo sistema; o pesquisador intervém na configuração do problema; o conhecimento é gerado, utilizado, testado e modificado no decorrer do processo de pesquisa.

Para Jarvinen (2007), em um trabalho de pesquisa-ação com caráter prescritivo, o objetivo é planejar e realizar ações, a fim de mudar uma parte da realidade do sistema problemático estudado. O pesquisador, com a colaboração dos profissionais que atuam no sistema estudado, define os requisitos do sistema a ser desenvolvido, e, após, as ações são planejadas e executadas, sendo, ao final, avaliados e descritos os resultados. O processo se desenvolve de maneira cíclica em busca de melhorias para o sistema, com o objetivo de que, após esses ciclos, o sistema tenha a utilidade planejada pela equipe (JARVINEN, 2007).

O resultado final da pesquisa é a descrição da estrutura e do funcionamento do sistema resultante do processo de mudança, mas, além disso, ao contrário do que ocorre em trabalhos de pesquisa-ação com abordagem tradicional, há também a preocupação com a função do novo sistema, ou seja, explicitar os problemas práticos que são solucionados com a sua utilização (JARVINEN, 2007).

Portanto, a partir da análise das características entre a pesquisa-ação tradicional e as ciências do *design*, confirma-se que este trabalho utiliza como estratégia de pesquisa a pesquisa-ação, porém não em seu formato original de caráter descritivo com foco no processo de mudança,

mas, considerando sua orientação como uma abordagem das ciências do *design*, com o foco na utilidade do novo sistema desenvolvido, que pode guiar mudanças na prática. Ainda, como em outros trabalhos de pesquisa-ação, o conhecimento emerge a partir de ciclos de aprendizagem, que incluem as etapas de planejamento, ação, avaliação e reflexão (EDEN; HUXHAM, 1996).

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A Figura 5 apresenta o delineamento da pesquisa, a qual foi dividida em quatro grandes etapas: (a) compreensão, (b) desenvolvimento, (c) consolidação e (d) análise e reflexão.

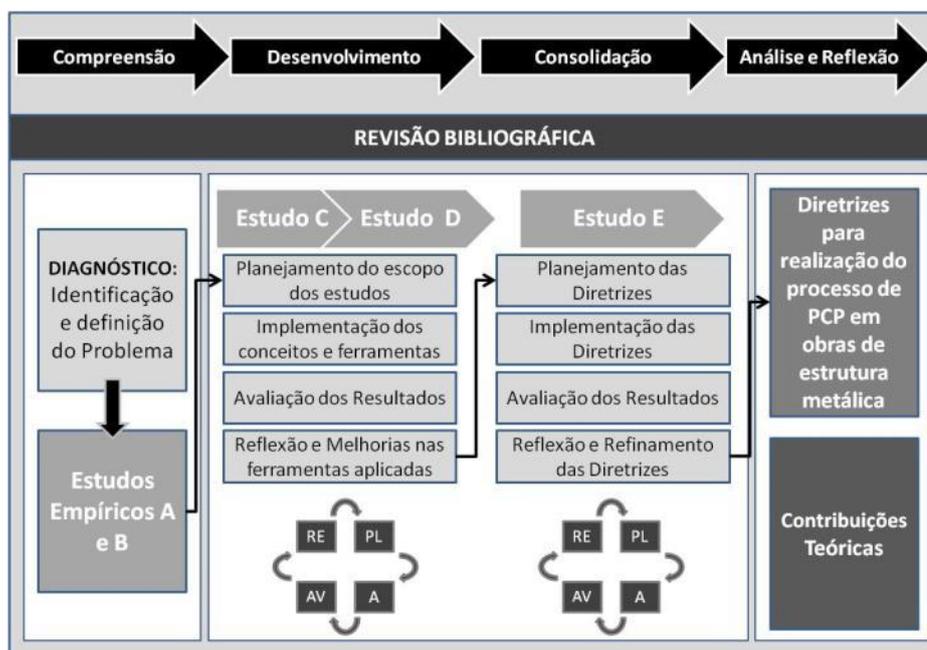


Figura 5: Delineamento geral da pesquisa

A revisão bibliográfica foi desenvolvida ao longo de todo o estudo, a fim de fornecer a fundamentação teórica necessária a cada uma das etapas da pesquisa.

A etapa de compreensão teve como objetivo principal entender o processo de Planejamento e Controle da Produção que ocorria nas obras da empresa estudada. Além disto, analisou-se o fluxo de informações e de materiais entre os diferentes setores da empresa e como era o relacionamento do setor de montagem (obras) com os demais setores. Assim, essa etapa consistiu na realização de um diagnóstico em diferentes setores para a caracterização da

empresa e na realização de dois estudos empíricos em obras (estudos A e B), a fim de entender como era realizado o processo de PCP em obra.

Durante a realização do diagnóstico na empresa e do desenvolvimento dos estudos A e B, ocorreu o primeiro processo de avaliação, reflexão e planejamento para a realização dos próximos estudos. Esse período marca o início da etapa de desenvolvimento da pesquisa, a qual consistiu na realização de dois estudos empíricos em obras (estudos C e D).

Primeiramente, realizou-se o estudo C, entre maio e julho de 2011, cujo desenvolvimento buscava atender a dois objetivos principais: (a) adaptar e implementar no processo de planejamento em nível de longo prazo alguns itens do escopo do PSP proposto por Schramm (2004) e (b) adaptar e implementar o Sistema *Last Planner* ao contexto de obras de montagem de sistemas construtivos metálicos. Após esta implementação, buscou-se identificar os benefícios que a realização do PCP, com base no Sistema *Last Planner*, fechando o primeiro ciclo de aprendizagem dessa pesquisa, conforme ilustrado na Figura 6:

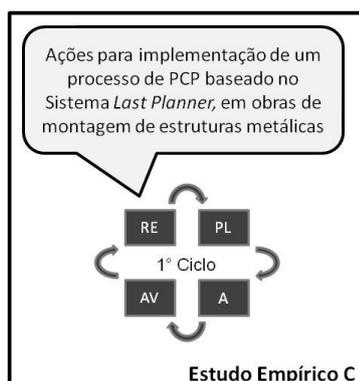


Figura 6: Primeiro ciclo de aprendizagem

A partir da reflexão sobre os resultados obtidos no estudo empírico C, planejou-se um conjunto de ações que tinham como finalidade guiar a implementação do processo de PCP, no estudo empírico D, o qual foi iniciado no final do mês de junho e concluído em outubro de 2011. Esse estudo originou o segundo ciclo de aprendizagem ilustrado na Figura 7:

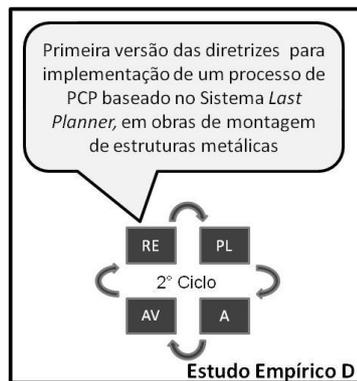


Figura 7: Segundo ciclo de aprendizagem

A etapa de consolidação iniciou após o segundo ciclo de aprendizagem e consistiu na realização do estudo empírico E. O objetivo dessa etapa foi refinar as diretrizes para a implementação do processo PCP em obras de sistemas construtivos metálicos, de maneira sistêmica, ou seja, integrando a obra (Setor de Montagem) com os demais setores da empresa e com os processos do cliente. Esta etapa teve duração total de quatro meses, iniciada no final do mês de agosto de 2011 e concluída em dezembro de 2011, tendo originado o terceiro ciclo de aprendizagem da pesquisa (Figura 8).

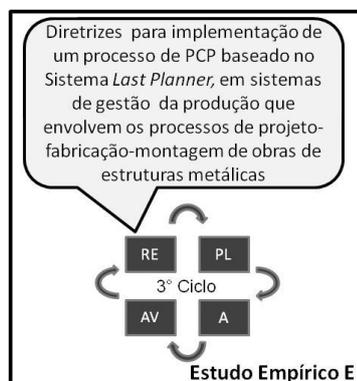


Figura 8: Terceiro ciclo de aprendizagem

A partir do terceiro ciclo de aprendizagem, iniciou-se a etapa de análise e reflexão, na qual foi realizada uma análise cruzada dos dados obtidos nos três estudos empíricos. A partir desta análise, foi proposta a versão final das diretrizes para implementação do Sistema *Last Planner* de controle da produção em obras de empresas de sistemas construtivos metálicos. Além disso, nesta etapa também foram feitas análises finais sobre o aprendizado conceitual ocorrido na pesquisa com o objetivo de propor adaptações nas ferramentas e nos conceitos para o contexto estudado. A conclusão desta etapa foi marcada pela realização do quarto

ciclo de aprendizagem (Figura 9), a partir do qual foram propostas as diretrizes finais de pesquisa.

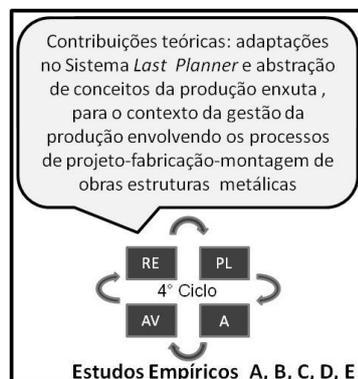


Figura 9: Quarto ciclo de aprendizagem

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA

A empresa X tem sede no Estado do Rio Grande do Sul e atua em diversos segmentos de mercado de sistemas construtivos metálicos para a construção. A presente pesquisa abrangeu o segmento da empresa que atua com obras comerciais, como, por exemplo, galpões industriais, centros de distribuição, *shoppings* e aeroportos, aplicando sistemas construtivos próprios. Este segmento representava uma elevada parcela do faturamento da empresa e havia oportunidades para a realização de melhorias no processo Planejamento e Controle da Produção com vistas a melhorar o desempenho em relação ao prazo de montagem das obras.

Neste segmento, a empresa oferece ao mercado nacional e internacional os serviços de projeto, fabricação e montagem de empreendimentos com sistemas construtivos metálicos, cujos projetos são elaborados utilizando-se componentes padronizados, que permitem projetar soluções para diferentes demandas, destacando-se:

- Estrutura principal, incluindo pilares e vigas;
- Coberturas: inclui as estruturas secundárias (treliças semiespaciais e planas ou terças), telhas metálicas, calhas, arremates, ventilação natural com lanternim e iluminação zenital. As telhas podem ser do tipo 1 - painéis pré-fabricados perfilados em obra, unidos pelo processo de zipagem (costura a máquina), ou do tipo 2, telhas trapezoidais entregues em obra perfiladas. Ambos os tipos podem ser instalados incluindo ou não isolamento termo-acústico;

- Fechamento lateral, que inclui a estrutura (terças, pilares), telhas metálicas tipo 2 e arremates; e
- Marquises e mezaninos.

No início do processo de desenvolvimento do produto dessa empresa, os empreendimentos eram classificados de acordo com o futuro negócio a ser instalado no estabelecimento, conforme segue:

- Tipo A: centros de distribuição, supermercados e galpões para locação, são obras consideradas pela empresa como de menor complexidade, pois utilizam componentes mais padronizados.
- Tipo B: obras destinadas à instalação de indústrias, possuem sobrecargas estruturais mais significativas, atingindo níveis médios de complexidade de projeto e montagem.
- Tipo C: reúne as obras mais complexas e menos padronizadas, tais como aeroportos e *shopping centers*.

A Figura 10 apresenta uma visão geral do processo de desenvolvimento do produto da empresa, que era responsável pelo projeto, fabricação e montagem de seus produtos. No processo da empresa, destaca-se como uma característica importante por sua grande influência sobre o fluxo de materiais entre os setores, a atividade de divisão do empreendimento em etapas e subetapas, a qual é realizada pelo setor de planejamento. Essa atividade tem como finalidade dividir fisicamente o empreendimento em lotes menores e similares (subetapas), os quais representam um conjunto de materiais, utilizados para a montagem de uma área da obra, denominada etapa.

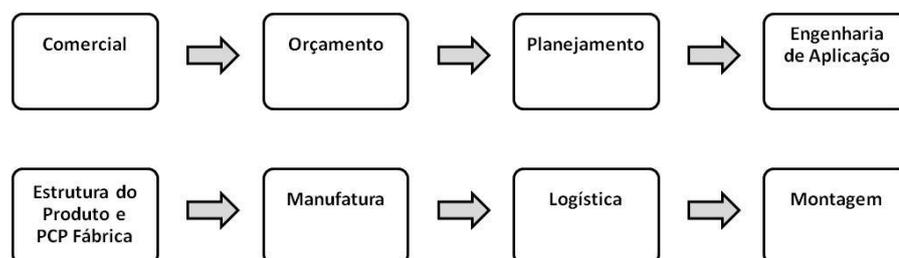


Figura 10: Fluxograma: Setores da empresa X

As etapas, que compõem um empreendimento, são similares entre si, e variam de área e de quantidade/tipo de subetapas, entre os diferentes empreendimentos. Cada etapa é composta por subetapas (lotes), onde cada subetapa representa um conjunto de materiais, os quais devem ser entregues por completo em obra, a fim de permitir a montagem de um sistema específico. Com a montagem de todas as subetapas que compõem uma etapa, ocorrerá, portanto, a finalização da montagem completa de diferentes sistemas que compõem e se localizam em uma área pré-definida da obra, ou seja, uma etapa.

Já as subetapas são padronizadas. Há, por exemplo, subetapas de materiais de estruturas principais, de secundárias, de cobertura, de fechamento lateral, de ventilação e de iluminação, entre outras. A montagem de todas as etapas completas e, conseqüentemente, de todas as subetapas representa a conclusão da montagem do empreendimento.

Os critérios de divisão do empreendimento em etapas e subetapas foram definidos e padronizados com o objetivo de reduzir o tempo de ciclo ao longo das fases de projeto, produção em fábrica e montagem da obra, além de ser utilizado para pré-definir um sequenciamento de lotes, representados pelas subetapas, a serem entregues entre os diferentes setores da empresa. Assim, após a concepção (orçamento e projeto inicial) do empreendimento, o mesmo é dividido em etapas as quais são subdivididas em lotes menores, ou subetapas, e, a partir dessas divisões, todos os setores a montante desenvolvem suas atividades com base na sequência de etapas, e com o objetivo de entregar ao setor subsequente cada uma das subetapas que as compõem de forma completa.

Ademais, como durante este trabalho foram realizadas algumas entrevistas, análises de documentos e observações diretas nesses setores, conforme apresentados na Figura 10, elaborou-se um mapeamento do processo de desenvolvimento do produto da empresa, o qual ilustra os setores, suas respectivas atividades principais e lotes de produção.

4.4 FONTES DE EVIDÊNCIA E FERRAMENTAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para a realização dos estudos utilizaram-se diversas fontes de evidência:

- **Entrevistas:** Foram realizadas entrevistas abertas com representantes dos níveis estratégico, tático e operacional dos principais setores da empresa. Para elaborar a caracterização da empresa, foram entrevistados profissionais de 16 cargos distintos: o diretor

do segmento estudado, os gerentes dos setores de orçamento, engenharia, PCP de fábrica, logística e montagem, o coordenador de planejamento, os especialistas em produção e em processo. Também foram entrevistados os analistas de planejamento, de processo, de PCP de fábrica, de logística, projetistas, assistente de expedição e engenheiros de montagem. Essas entrevistas foram realizadas com a finalidade de compreender o processo de desenvolvimento do produto (obras) estudado.

Foram também realizadas entrevistas abertas com profissionais do setor de montagem que ocupavam três cargos distintos: engenheiros de montagem, coordenadores de contratos e encarregados das empresas subcontratadas das obras A e B. Com as entrevistas buscou-se obter, a partir das percepções das pessoas, informações sobre como era realizado o processo de PCP na obra e como eram executadas as atividades de montagem.

Com relação aos estudos C, D e E foram realizadas entrevistas com os envolvidos no processo de PCP, como os engenheiros de montagem, os coordenadores de contratos e os encarregados das equipes subcontratadas, e, além disso, na obra C, também foram entrevistados engenheiros da empresa construtora, os quais representavam o cliente. Com tais entrevistas buscou-se obter as percepções das pessoas acerca do processo de PCP que estava sendo implementando por esta pesquisa.

Além disso, ao longo de todos os estudos, os seus participantes eram questionados sobre aspectos relevantes no desenvolvimento do processo, a fim de captar suas impressões sobre o processo de PCP e sobre as dificuldades e benefícios percebidos.

- **Análise de Documentos:** A principal utilidade dos documentos é contribuir para a compreensão dos processos analisados e corroborar as informações obtidas por meio de outras fontes. A análise documental foi utilizada durante a realização da etapa de caracterização da empresa e de realização dos estudos A e B. Nesse período foram analisados projetos, contratos, cronogramas, documentos de controle de entregas de materiais, relatórios de acompanhamento de obra e de produção fabril e fluxogramas.

Na sequência, os documentos gerados durante o desenvolvimento dos estudos C, D e E, como os planos de longo prazo, *layout* do canteiro, foram utilizados como fontes de evidências, da utilidade do processo de PSP para a gestão dos empreendimentos. Os planos de médio e curto prazos, por sua vez, foram fontes de evidências quanto à operacionalização das decisões do PSP, no que diz respeito principalmente ao plano de ataque da obra, avanço físico e aderência ao lote de entrega.

- **Observações Diretas:** Foram realizadas principalmente durante a etapa de compreensão do problema, com visitas às obras, aos setores administrativos, à fábrica, à área de expedição, entre outras unidades. Também foram realizadas observações durante as etapas de desenvolvimento e consolidação, a fim de identificar como as equipes de montagem utilizavam as ferramentas que estavam sendo implementadas no processo de PCP das obras e como era executado o processo de montagem dos produtos em campo.
- **Observações Participantes:** Para a realização da caracterização do processo de PCP das obras, foram realizadas duas observações participantes em reuniões gerenciais, uma na obra A e outra na B. Essas reuniões ocorriam quando o coordenador de contratos visitava a obra, cujos participantes eram o engenheiro de montagem, o coordenador de contratos e eventualmente os encarregados das empresas subcontratadas e os técnicos de segurança. Os assuntos discutidos nas reuniões geralmente eram o avanço físico da obra, algumas prioridades de execução do cliente e da empresa X, a organização e a segurança do canteiro.

Além disso, como o foco deste trabalho refere-se à implementação de um processo de PCP, a observação participante foi uma das principais oportunidades para a coleta de dados, o que ocorreu durante as reuniões de PCP realizadas nos estudos C, D e E. Nessas reuniões a pesquisadora teve um papel ativo na implementação e no desenvolvimento do processo, realizando anotações dos resultados das observações como: a duração das reuniões, os participantes, os assuntos discutidos e as respectivas conclusões. O total de observações participante que ocorreram durante os processos de elaboração do PSP, PCP em nível de médio e curto prazos nas obras C, D e E é apresentado na Figura 11.

Obras	PSP	Médio Prazo	Curto Prazo
C	5	8	15
D	3	5	14
E	6	1	1

Figura 11: Observações participantes – estudos C, D e E

- **Registro Fotográfico:** Foram feitos registros fotográfico das obras, principalmente com finalidade de auxiliar no entendimento das operações de montagem, para documentar improvisações e entender o funcionamento das obras.

Além disto, foi utilizada a seguinte ferramenta para a análise dos dados coletados:

- **Diagrama do Processo:** Foram utilizados diagramas de processo, uma ferramenta que permite documentar e registrar a forma como os processos são realizados (ISATTO *et al.*, 2000). Empregaram-se, para tanto, símbolos padronizados para representar os diferentes tipos de atividade, conforme apresentado na Figura 12.

Símbolo	Denominação da Atividade
	Transporte ou Movimentações
	Inspeção ou ação de procurar os materiais
	Estoque ou Espera
	Processamento ou Conversão

Figura 12: Simbologia utilizada para elaboração de diagramas de processo (adaptada ISATTO *et al.*, 2000)

4.5 ESTUDOS EMPÍRICOS

4.5.1 Estudo Empírico A

A obra A era destinada à instalação de uma empresa do setor automotivo e localizava-se no Estado de São Paulo. A Figura 13 ilustra as vistas frontal e lateral do empreendimento no período de acompanhamento. Os produtos e serviços executados pela empresa X neste empreendimento eram: projeto, fabricação e montagem do sistema de cobertura (estrutura principal e secundária - treliça plana, sistema sanduíche de telhas – inclui telhas metálicas tipo 2, isolamento termo-acústico e telha metálica tipo 1 - acessórios, arremates), fechamento lateral (estrutura, telhas metálicas tipo 2, acessórios, arremates) e mezanino.



Figura 13: Frente de serviço - obra A

Esta obra foi classificada como um empreendimento do tipo B, sendo composto pelo galpão principal dividido em 19 etapas, como ilustra a Figura 14, mais quatro etapas do mezanino, ilustradas pela Figura 15, e também por outro galpão de cinco etapas, ilustrado na Figura 16, totalizando 28 etapas em uma área de aproximadamente 52.000m².

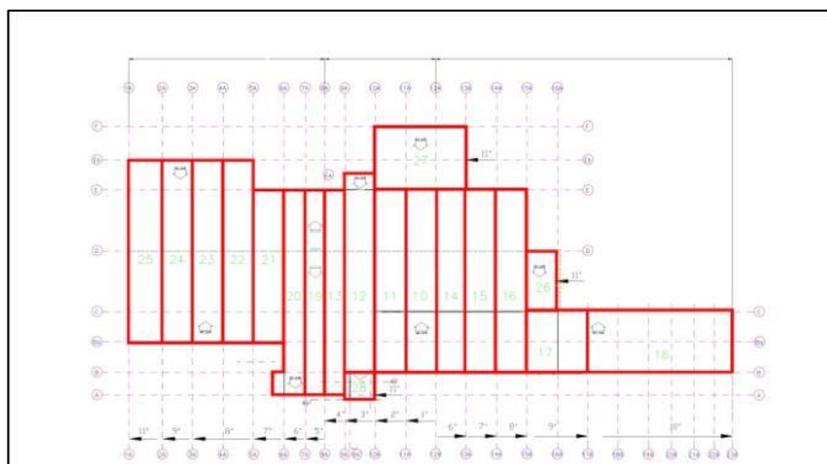


Figura 14: Implantação - obra A – galpão principal

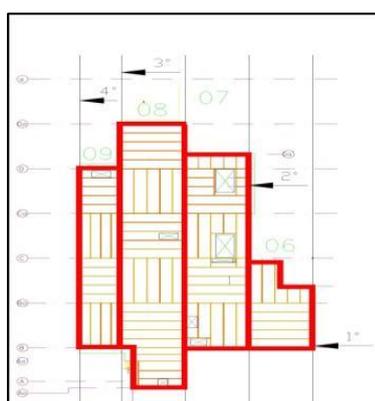


Figura 15: Obra A – mezanino

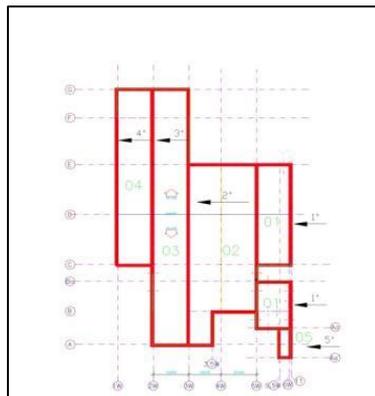


Figura 16: Obra A – galpão B

As atividades de montagem da empresa X no empreendimento foram contratadas para iniciar no dia 25/11/2010 e o prazo final de entrega era 19/04/2011. Porém, o início, de fato, ocorreu no dia 06/12/2010. No período do estudo, o andamento físico da obra estava atrasado em relação ao cronograma, sendo que havia várias frentes de serviço a serem iniciadas e outras estavam em execução.

A estrutura metálica desse empreendimento continha uma solução diferenciada para o projeto da estrutura secundária. Enquanto as emendas das treliças planas eram tradicionalmente feitas por meio de processo de soldagem executado em fábrica, para esta obra foi projetada uma treliça plana, cujas emendas foram executadas em obra com a utilização de parafusos. Essa alteração foi necessária, pois os prazos de entrega eram curtos, e geralmente o processo de solda é o processo gargalo das linhas de montagem da fábrica da empresa. Assim, como o prazo de entrega do empreendimento era pequeno, o objetivo dessa solução era elevar a velocidade de fabricação dos componentes da treliça, evitando o processo gargalo.

Nessa obra, devido à grande quantidade de etapas do empreendimento e à necessidade de pré-montagem das treliças planas, foram subcontratadas duas outras empresas para realizar os serviços de montagem, denominadas, neste estudo de empresas G e B. Ademais, para a execução dos serviços foi necessário o uso de muitos equipamentos (durante o período do acompanhamento visualizou-se que em média eram utilizados por dia dois guindastes, oito plataformas elevatórias e quatro caminhões com guindaste (tipo “Munck”).

A equipe de gestão de obra da empresa X para o empreendimento era constituída por dois engenheiros de montagem que tinham dedicação exclusiva ao empreendimento e um coordenador de contratos, o qual coordenava outras cinco obras simultaneamente.

A coleta de dados ocorreu durante uma semana no mês de fevereiro de 2011, na qual o empreendimento foi acompanhado todos os dias. Inicialmente, buscou-se entender como era realizada a montagem dos produtos componentes da estrutura metálica e como ocorria o processo de PCP.

Com essa finalidade foram realizadas observações diretas dos processos de montagem, acompanhou-se uma reunião gerencial, entre os engenheiros de montagem, o coordenador de contratos e os dois técnicos de segurança no trabalho, cujos assuntos principais discutidos foram organização e segurança do canteiro e metas de execução. Também foram feitos registros fotográficos dos processos de montagem, análises de documentos (plano de longo prazo, projetos, diários de obra, relatórios de acompanhamento da obra, indicadores) e entrevistas abertas com o engenheiro de montagem, coordenador de contratos e encarregados das equipes subcontratadas.

Foram também coletados dados quantitativos, obtidos com o acompanhamento de processos de montagem dos diferentes produtos; mapeamento do *layout* do canteiro e análise de documentos. Para a análise dos dados coletados foram utilizadas ferramentas, tais como, fluxogramas e diagrama de processo. Devido à curta duração deste estudo, não foi possível coletar dados de todos os diferentes serviços que ocorriam em obra. Por isso, para ilustrar problemas de padronização de operações que se repetiam em diferentes processos, foi elaborado um mapa de processo com medição de tempos das operações. Além disto, para demonstrar quais eram os diferentes serviços de montagem de uma etapa que ocorriam em obra, elaborou-se um fluxograma do processo de montagem.

4.5.2 Estudo Empírico B

A obra B destinava-se à montagem de um galpão para estocagem de materiais e localizava-se no Estado de Pernambuco, sendo classificada pela empresa X como um empreendimento do tipo A. A Figura 17 ilustra as vistas frontal e lateral do empreendimento no período de acompanhamento. Os produtos e serviços executados pela empresa X no referido empreendimento eram: projeto, fabricação e montagem do sistema de cobertura (estrutura, telhas metálicas tipo 2 com isolamento termo acústico, acessórios, arremates, lanternim e zenitais), fechamento lateral (estrutura, telhas, acessórios, arremates) e marquises.



Figura 17: Vistas lateral e frontal – obra B

O empreendimento foi dividido em 10 etapas, sendo oito etapas de 3.735m² que compõem o galpão principal e duas etapas de 3.600m² que fazem parte da marquise anexa a esse galpão, como ilustra a Figura 18, totalizando uma área de 37.080m².

	33	31	29	27	25	23	21	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1																
A	MARQUISE - Etapa 10								MARQUISE - Etapa 9																								
B	Etapa 8				Etapa 6				Etapa 4				Etapa 2				Etapa 7				Etapa 5				Etapa 3				Etapa 1				
C																																	
E																																	
G																																	
I																																	
K																																	

Figura 18: Divisão de etapas - obra B

As atividades de montagem da empresa X iniciaram no dia 05/01/2011 e o prazo final de entrega era 12/04/2011. No período do estudo, o andamento físico da obra estava atrasado em relação ao cronograma e tinha como principais frentes de montagem os serviços de pré-montagem e içamento da estrutura secundária de cobertura (treliças semiespaciais), montagens do telhado e do fechamento lateral.

Os serviços de montagem eram executados por uma empresa subcontratada denominada neste estudo de empresa C, a qual utilizou para a montagem das estruturas duas plataformas elevatórias e dois caminhões com guindaste (tipo “Munck”).

A equipe de gestão de obra da empresa X nesse empreendimento era constituída de um engenheiro de montagem, o qual também gerenciava outras duas obras, e um coordenador de contratos, o qual coordenava seis obras simultaneamente.

O estudo consistiu na observação dos serviços de montagem e também do processo de PCP por um período de uma semana no mês de fevereiro de 2011, com acompanhamento diário da obra. Como no estudo empírico A, buscou-se observar mais profundamente como eram executados os serviços de montagem, a fim de entender como as equipes se organizavam para executar as operações e compreender o processo de PCP. Foram realizadas observações diretas dos processos de montagem, acompanhou-se uma reunião gerencial, entre o engenheiro de montagem, o coordenador de contratos e o encarregado da empresa subcontratada, cujo assunto discutido foi metas de execução. Também foram feitos registros fotográficos, análises de documentos (plano de longo prazo, projetos, diários de obra, relatórios de acompanhamento da obra e planilha de controle de materiais entregues), além de entrevistas abertas com o engenheiro de montagem e com o encarregado da equipe subcontratada. Foram também coletados dados quantitativos, obtidos com o acompanhamento de processos de montagem dos diferentes produtos, mapeamento do *layout* do canteiro e análise de documentos. Para a análise dos dados coletados foram utilizadas ferramentas, tais como fluxograma e diagrama de processo.

Ademais, durante a realização deste estudo obtiveram-se mais informações sobre os serviços de montagem realizados no canteiro de obras, tais como número de operários por equipe, índices de produtividade da mão de obra e dos equipamentos. Essas novas informações possibilitaram que fosse utilizada a técnica da Linha de Balanço para demonstrar à empresa outros planos de ataque e sequências de execução que poderiam ter sido utilizados no empreendimento.

4.5.3 Estudo Empírico C

A obra C consistiu na execução de um galpão industrial localizado no Estado de São Paulo. O cliente havia contratado uma empresa construtora para a execução de toda a obra, a qual terceirizou vários serviços, tais como fornecimento de material e execução dos pilares, painéis de fechamento lateral, lajes e escadas, produtos fornecidos por uma empresa de pré-moldadas de concreto. A empresa X foi subcontratada para o fornecimento de projeto, fabricação e montagem do sistema de cobertura do empreendimento, que incluía estruturas principais (vigas) e secundárias (treliças espaciais), telha tipo 1 com isolamento termoacústico, lanternins, calhas e arremates. A Figura 19 ilustra uma vista lateral da etapa inicial da obra e uma vista panorâmica da obra relativa ao período no qual as atividades da empresa X foram concluídas.



Figura 19: Vistas lateral e frontal - obra C

Essa obra foi classificada pela empresa X como um empreendimento do tipo A, com área de 12.370m², dividida em cinco etapas, como ilustra a Figura 20. O prazo de execução das atividades de montagem da empresa X era de 64 dias, iniciando-se em 04/05/2011 com data final para entrega em 14/07/2011, datas que coincidem com o período do acompanhamento da obra.

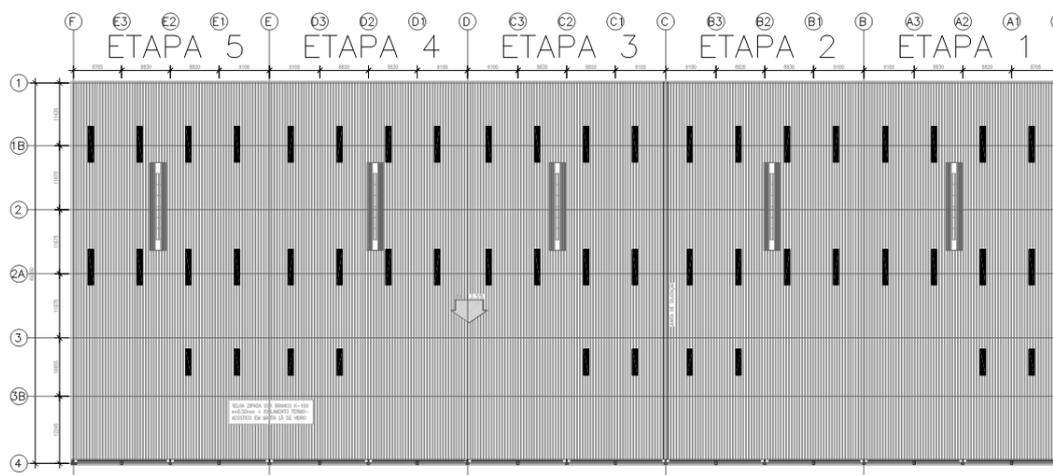


Figura 20: Divisão de etapas – obra C

A empresa X subcontratou a empresa A para realizar os serviços de montagem, a qual já era sua parceira antiga. Ainda, a empresa A subcontratou a empresa M para executar o serviço de pré-montagem das estruturas secundárias. Os equipamentos utilizados para a montagem da obra foram um guindaste, dois caminhões com guindaste (tipo “Munck”) e uma plataforma elevatória.

Para esse empreendimento a equipe de gestão de obra da empresa X era constituída por um engenheiro de montagem, o qual também gerenciava outras três obras, e um coordenador de contratos, o qual no momento coordenava oito obras simultaneamente.

O estudo consistiu primeiramente na elaboração do projeto do sistema de produção, com base no modelo proposto por Schramm (2004), e acompanhamento da sua operacionalização. Na sequência, foi realizada a implementação do Sistema *Last Planner* nos níveis de planejamento de médio e curto prazos, por meio de reuniões de planejamento e controle da produção. A etapa de elaboração e avaliação da operacionalização do projeto do sistema de produção e de realização do processo de planejamento de longo prazo, utilizando a técnica da Linha de Balanço, envolveu cinco reuniões, com duração média de duas horas, das quais participavam o engenheiro da obra, o coordenador de contratos e também o encarregado da empresa A.

O processo de implementação e avaliação da operacionalização do Sistema *Last Planner* ocorreu por meio da realização de oito reuniões semanais para planejamento e controle da produção em médio prazo, com duração média de duas horas, nas quais participavam a pesquisadora e o engenheiro de montagem. Ademais, foram realizadas 15 reuniões para planejamento e controle da produção em curto prazo, que ocorriam duas vezes por semana, com duração média de 40 minutos, das quais participavam a pesquisadora, o engenheiro de montagem e os encarregados das empresas A e M.

4.5.4 Estudo Empírico D

A obra D consistia na execução de um galpão industrial localizado no Estado de São Paulo, no qual seria instalada uma indústria de montagem de máquinas pesadas. A empresa X foi subcontratada para o fornecimento de projeto, fabricação e montagem do sistema de cobertura do empreendimento que incluiu estruturas principais (vigas) e secundárias (terças), zenitais, lanternins, calhas e arremates; sistema de fechamento lateral que inclui estruturas, telhas tipo dois e arremates. As telhas metálicas para a cobertura eram fornecidas por outra empresa, porém o serviço de instalação desse material estava sob-responsabilidade da empresa X. A Figura 21 ilustra duas vistas da mesma lateral da obra em períodos diferentes de execução.



Figura 21: Vistas laterais - obra D

Essa obra foi classificada pela empresa X como um empreendimento do tipo B, com área de 32.000m², dividida em oito etapas no galpão principal e mais duas etapas de marquises e mezanino, respectivamente. No entanto, o foco da pesquisa foi apenas a execução das etapas do galpão principal (Figura 22).

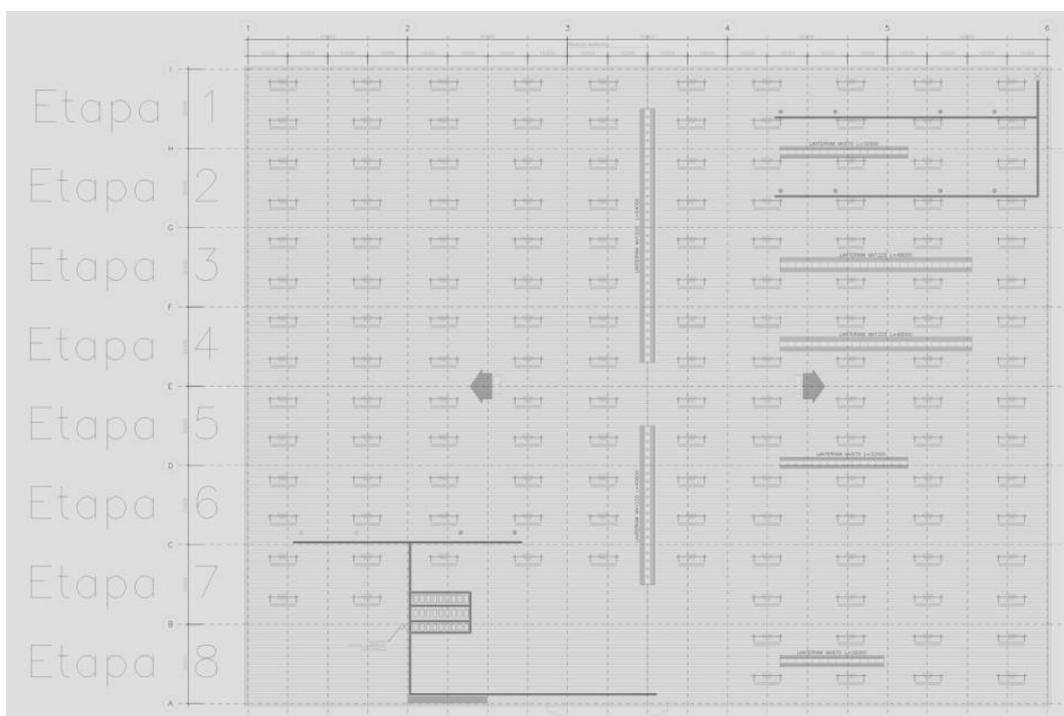


Figura 22: Divisão de etapas – obra D galpão principal

O prazo de execução das atividades da empresa X nas oito etapas estudadas era de 86 dias úteis, iniciando em 21/06/2011 e com data final para entrega no dia 30/09/2011. No período de início das atividades de montagem, da empresa X, todos os pilares pré-moldados de concreto já estavam montados. Além disso, a empresa X subcontratou a empresa R, sua parceira antiga, para realizar os serviços de montagem do empreendimento, a qual utilizou

quatro guindastes, um caminhão com guindaste (tipo “Munck”) e três plataformas elevatórias para montagem.

Para esse empreendimento, a equipe de gestão de obra da empresa X era constituída por um coordenador de contratos, que nesse período coordenava de seis obras simultaneamente, e um engenheiro de montagem, o qual inicialmente trabalhou com dedicação exclusiva à obra e, a partir do segundo mês de execução, passou a gerenciar outra obra em paralelo.

O estudo foi desenvolvido de maneira similar ao estudo C, assim consistiu na elaboração do projeto do sistema de produção e acompanhamento da sua operacionalização. Na sequência, foi realizada a implementação do Sistema *Last Planner* nos níveis de planejamento de médio e curto prazos, por meio de reuniões de planejamento e controle da produção.

A etapa de elaboração e avaliação da operacionalização do projeto do sistema de produção e de realização do processo de planejamento de longo prazo, utilizando a técnica da Linha de Balanço, envolveu três reuniões, com duração média de duas horas, das quais participavam engenheiro de montagem, o coordenador de contratos e também o encarregado da empresa R. Nessa etapa também foi realizado o processo de implementação do Sistema *Last Planner*, que ocorreu por meio da realização de cinco reuniões semanais para planejamento e controle da produção em nível de médio prazo, nas quais participavam a pesquisadora, o engenheiro de montagem e eventualmente o coordenador de contratos, cuja duração média era de uma hora e meia.

Ainda, foram realizadas 14 reuniões semanais para planejamento e controle da produção de curto prazo, nas quais participavam a pesquisadora, o engenheiro de montagem, dois encarregados da empresa R e, eventualmente, o coordenador de contratos, com duração média de 30 minutos. Após o término do período de acompanhamento presencial da obra, ainda foram feitas mais 13 reuniões de PCP de curto prazo e cinco reuniões de PCP de médio prazo.

4.5.5 Estudo Empírico E

A obra E consistia na execução de um galpão industrial também localizado no Estado de São Paulo, que foi construído para a instalação de uma fábrica. A empresa X foi contratada diretamente pelos proprietários do empreendimento e era responsável pelo fornecimento do projeto, fabricação e montagem do sistema de cobertura, incluindo estruturas principais (vigas) e secundárias (treliças espaciais), telhas metálicas tipo 1, zenitais, lanternins, calhas e arremates, além do sistema de fechamento lateral que inclui estruturas, telhas e arremates.

A Figura 23 ilustra duas vistas laterais do empreendimento com o sistema de cobertura instalado.



Figura 23: Vistas laterais – obra E

Essa obra foi classificada pela empresa X como um empreendimento do tipo B, com área de 24.171m², dividida em cinco etapas no galpão principal e mais uma etapa correspondente às marquises. No entanto, o foco da pesquisa era apenas a execução das cinco etapas do galpão principal (Figura 24).

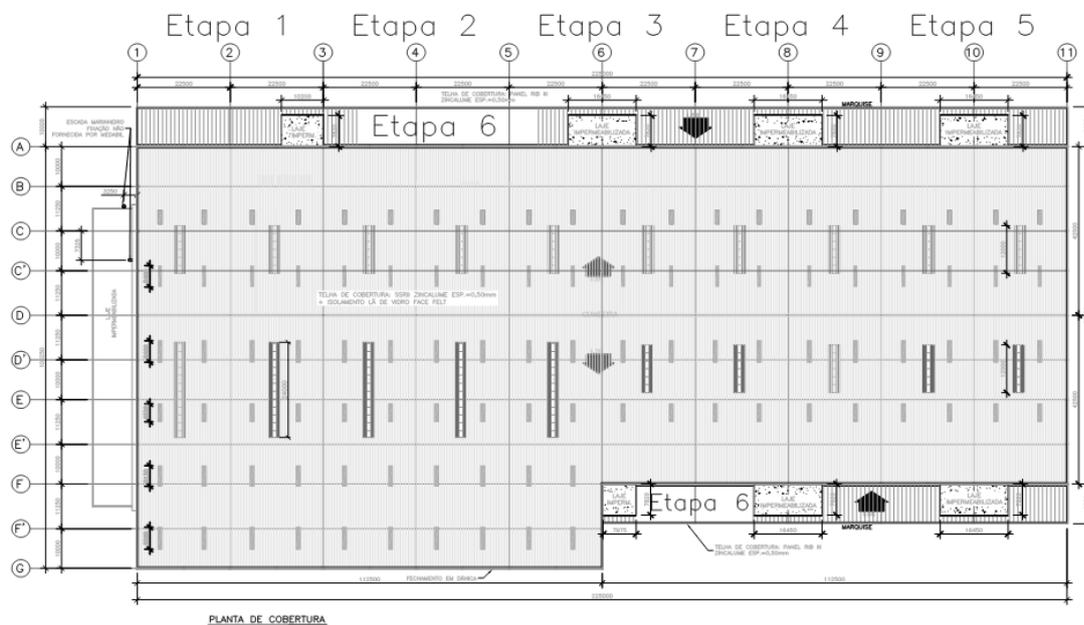


Figura 24: Divisão de etapas – obra E

O prazo de execução das atividades da empresa X, em obra, era de 80 dias úteis, com início em 19/09/2011 e com data final para entrega no dia 23/12/2011. No entanto, a obra iniciou de

fato no dia 26/09/2011 e, devido aos atrasos da empresa de pré-moldados de concreto responsável pela montagem dos pilares, o prazo para conclusão do empreendimento foi estendido até fevereiro de 2012. Além disso, a empresa X subcontratou a empresa P, para realizar os serviços de montagem do empreendimento, tendo como equipamentos utilizados dois caminhões do tipo “Munck” e duas plataformas elevatórias.

Para esse empreendimento a equipe de gestão de obra da empresa X era constituída por um engenheiro de montagem, que inicialmente tinha dedicação exclusiva a essa obra, e um coordenador de contrato, o qual também era coordenador da obra do estudo empírico C, e no período coordenava seis obras simultaneamente.

O estudo foi desenvolvido de maneira diferenciada em relação aos estudos C e D, pois as reuniões de planejamento de longo prazo e de elaboração e avaliação do PSP iniciaram logo após a venda da obra, ou seja, antecipadamente ao início da elaboração do projeto e fabricação dos produtos. Além disso, as reuniões de planejamento, em nível de longo prazo, foram realizadas com a participação de representantes de diferentes setores da empresa, tais como o gerente de montagem, coordenador de contratos, coordenador do setor de planejamento, especialista em montagem, coordenadora do projeto no setor de engenharia de aplicação e analista do setor de logística. Foram realizadas duas reuniões com a presença de toda a equipe e mais quatro reuniões individuais, das quais uma envolveu o coordenador do setor de planejamento e o analista de logística, sendo as demais realizadas, respectivamente: uma com uma equipe multidisciplinar da empresa, uma com o coordenador de contratos e a reunião final foi com o especialista em montagem em parceria com o coordenador de planejamento. Com os resultados desse processo foram elaborados três planos contingenciais para o horizonte de longo prazo.

Ainda, quando ocorreu o início da montagem do empreendimento, teve início a implementação e a avaliação do Sistema *Last Planner* nos níveis de planejamento de médio e curto prazos. Na primeira reunião, em nível de médio prazo, realizou-se a atualização do plano de longo prazo que entre os três planos contingenciais mais se adequava ao contexto do momento da obra, na tentativa de adaptar a produção as novas condições de execução, e, na sequência, desenvolveu-se o processo de identificação das restrições. Posteriormente, ainda durante a semana inicial de montagem, a pesquisadora participou da primeira reunião de planejamento em nível de curto prazo, realizada em conjunto com o engenheiro de montagem e com o encarregado da empresa P.

5 DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DE PCP

Neste capítulo é apresentada a caracterização geral dos processos da empresa X, assim como os resultados dos estudos empíricos A e B, nos quais foram realizados diagnósticos do processo de PCP de obras.

5.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA EMPRESA X

O mapa apresentado na Figura 25: descreve as principais atividades realizadas no processo de desenvolvimento do produto, assim como os principais setores envolvidos. Este mapa contém as seguintes informações para cada processo: nome da atividade desenvolvida, nome do setor, e o respectivo lote de produção (LP), sendo que os setores são diferenciados por cores. As setas indicam o fluxo de informações ou materiais, enquanto os triângulos indicam os *buffers* de trabalho, previamente dimensionados e posicionados entre os setores.

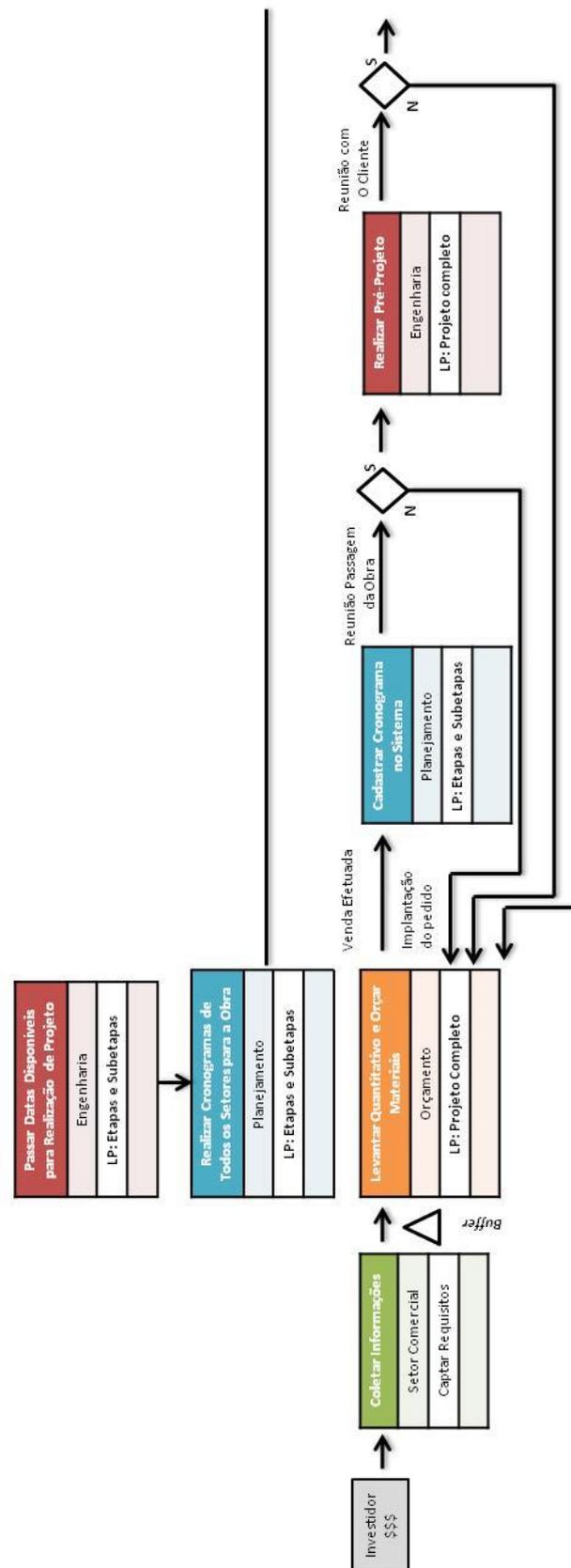


Figura 25: Mapeamento do processo de desenvolvimento do produto da empresa X

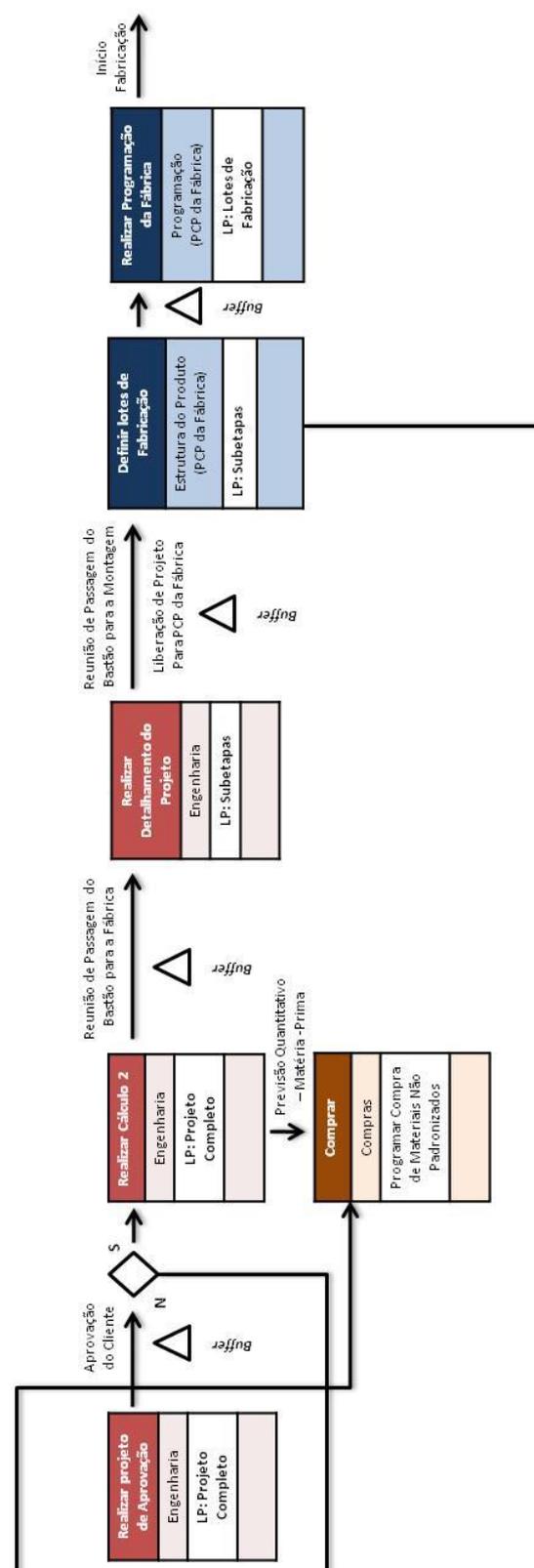


Figura 25: Mapeamento do processo de desenvolvimento do produto da empresa X
 (continuação)

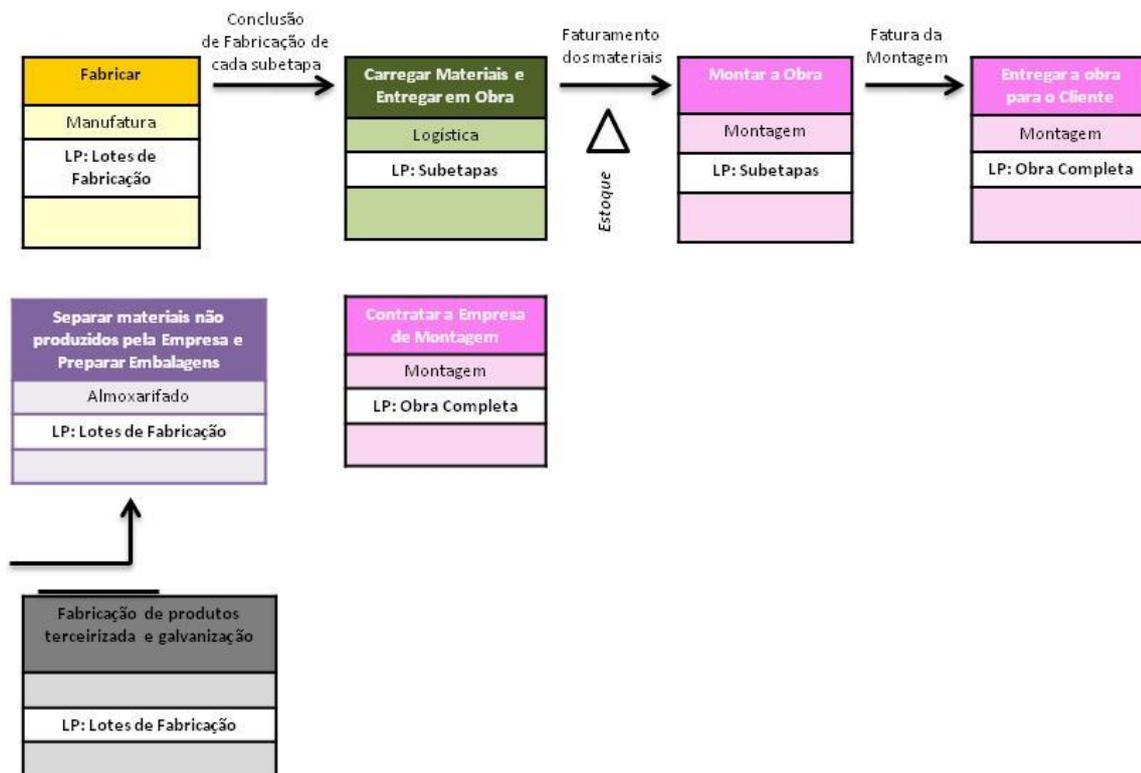


Figura 25: Mapeamento do processo de desenvolvimento do produto da empresa X
(continuação)

O fluxo de desenvolvimento do produto ilustrado no mapa da Figura 25 inicia pelo setor comercial, que capta os requisitos do cliente. Com essas informações, o setor de orçamento define os primeiros parâmetros da solução do sistema estrutural e os custos do empreendimento. Enquanto o orçamento está sendo elaborado, o setor de planejamento elabora uma divisão física do empreendimento (etapas) e uma subdivisão em lotes menores com características repetitivas (subetapas) para, na sequência, elaborar um planejamento de longo prazo.

Cada subetapa deve ser processada e entregue de um setor para o outro completa, isto é, com todos os componentes necessários para a execução da mesma, a fim de que a sequência de execução planejada para o empreendimento seja obedecida. Com base na divisão do empreendimento em etapas e subetapas, o setor de planejamento elabora um plano-mestre que prevê datas para o início e o fim do processamento de cada subetapa nos setores a montante: engenharia de aplicação (projeto), PCP da fábrica e estrutura do produto, manufatura, logística e montagem.

Posteriormente, baseado nas informações do setor de orçamento sobre os custos do empreendimento e no cronograma elaborado pelo setor de planejamento, o setor comercial negocia o valor e os prazos da obra com o cliente. Após a venda ser concretizada, no período previsto no plano-mestre, o setor de Engenharia de aplicação elabora os projetos de fabricação dos produtos e de montagem de cada subetapa do empreendimento.

Após o projeto de fabricação de uma subetapa ser finalizado, o setor de estrutura do produto separa os produtos da subetapa em lotes de fabricação, definidos de acordo com a linha de montagem na qual ele será produzido. Então, o setor de PCP da fábrica elabora a programação de produção das linhas incluindo esses lotes de fabricação e buscando respeitar os prazos previstos no plano-mestre para a produção da subetapa completa.

Posteriormente, os lotes de fabricação são produzidos pelo setor de manufatura e organizados pelo setor de logística no pátio da empresa. Quando a subetapa estiver completamente produzida, será então transportada para o respectivo canteiro de obras. Por fim, com o recebimento do material em obra, o setor de montagem pode iniciar a execução da montagem das subetapas, em suas respectivas etapas (áreas).

Para administrar o processo de montagem de cada empreendimento, a empresa geralmente utiliza a seguinte estrutura: um engenheiro de montagem, o qual gerencia em média três obras simultaneamente, um coordenador de contratos, o qual coordena em média oito obras em paralelo. Esses funcionários são subordinados ao gerente de contratos, ao gerente de montagem e a um diretor.

A mão de obra para montagem das obras é subcontratada e algumas das empresas terceirizadas prestam serviços à empresa há mais de 20 anos, mantendo uma relação de parceria com a mesma. No entanto, em função do crescimento acentuado das operações da empresa X em anos recentes, novas empresas de montagem também passaram a ser subcontratadas. O contrato com as empresas subcontratadas prevê o fornecimento de mão de obra especializada e equipamentos necessários para a montagem da obra, sendo que os equipamentos mais utilizados são caminhões com guindaste (tipo “Munck”), plataformas elevatórias para trabalho aéreo e guindastes.

Em obras, os principais serviços de montagem executados são: pré-montagem das estruturas secundárias, quando essa estrutura for do tipo treliças semiespaciais (Figura 26); montagem dos pilares ou vigas principais (Figura 27); montagem das estruturas secundárias - terças

(Figura 28) ou das treliças semiespaciais pré-montadas (Figura 29); perfilagem dos painéis pré-fabricados das telhas (

Figura 30); montagem das telhas de cobertura (Figura 31); montagem dos sistemas de iluminação, ventilação, calhas e arremates (Figura 32) e montagem da estrutura e telhas de fechamento lateral (Figura 33).



Figura 26: Pré-montagem treliças



Figura 29: Montagem das treliças



Figura 27: Montagem estrutura principal



Figura 30: Perfilagem de telhas



Figura 28: Montagem terças



Figura 31: Montagem telhas de cobertura



Figura 32: Montagem sistemas de iluminação, ventilação e calhas e arremates



Figura 33: Montagem estrutura e telhas de fechamento latera

Os estudos desta pesquisa foram realizados na empresa X no período em que a mesma realizava mudanças em alguns processos. Segundo relatos dos funcionários, até o ano de 2007 os processos e a sequência de operações dos diferentes setores não eram formalizados e integrados. Cada setor planejava e executava suas atividades visando atingir suas metas individuais de produção. Além disso, os componentes metálicos manufaturados eram processados na fábrica em grandes lotes, e a entrega dos produtos em obra era feita de maneira fracionada. Assim, ocorriam problemas nas obras, pois os produtos entregues no canteiro geralmente não eram aqueles que a obra necessitava naquele momento, e, por ocorrerem entregas fracionadas não padronizadas, muitas vezes os materiais chegavam incompletos, não permitindo a sua montagem, resultando em atrasos na execução.

Desse modo, a partir de 2007 foi iniciado na empresa um programa de melhorias no sistema de gestão da produção que visava à redução de desperdícios, com base em conceitos e ferramentas da produção enxuta. Os funcionários de vários setores relataram que, desde o início da implantação desse novo sistema de gestão, o setor de manufatura vem sendo o foco principal das ações de melhorias. Por exemplo, haviam sido realizadas modificações no arranjo físico dos equipamentos e das pessoas, para que o fluxo produtivo passasse a ser em linhas de produção, reduziram-se os tempos de *setups* de alguns equipamentos e foram feitas alterações nos métodos das operações, tornando-os mais padronizados.

Como resultados positivos das alterações realizadas na manufatura, destacam-se as reduções na quantidade de estoque de material em progresso e de material acabado, o qual anteriormente era distribuído em toda a extensão das fábricas e nos pátios. Não havia locais padronizados para os estoques e, por isso, perdiam-se muitas peças, havendo a necessidade de destacar funcionários exclusivamente para procurá-las. No entanto, mesmo com a existência desses funcionários dedicados, alguns produtos já fabricados e que deveriam ser

entregues nas obras não eram localizados, tornando-se necessária nova fabricação, o que elevava os índices de desperdícios e atrasos na entrega do produto final da empresa (obra concluída).

No mesmo período em que foram realizadas essas mudanças, também ocorreram alterações no Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP) que teve grande importância para este estudo, principalmente a definição de que o processo de montagem deveria ser executado em etapas e os lotes de entrega deveriam ser feitos em subetapas. Segundo os funcionários da empresa, a divisão do empreendimento em etapas e subetapas foi realizada para atender aos seguintes objetivos:

- Reduzir o tamanho dos lotes, a fim de diminuir o trabalho em progresso e organizar o fluxo de trabalho dos setores.
- Fornecer material em obra de acordo com sequência de montagem.
- Obter para uma mesma obra lotes de produção similares, a fim de serem utilizados por todos os setores, com o objetivo de facilitar a gestão do empreendimento.
- Reduzir o *lead time* do processo, permitindo uma maior sobreposição das atividades entre os setores, pois, por exemplo, quando o projeto de uma subetapa de um empreendimento é concluído, o PCP da fábrica já pode incluí-lo na programação, ao mesmo tempo em que o projeto da próxima subetapa é desenvolvido, e assim sucessivamente entre os setores.

Conforme instruções de trabalho, elaboradas pelo setor de planejamento da empresa, cada etapa do empreendimento é usualmente dividida por esse setor em pelo menos quatro subetapas: (a) chumbadores, (b) estrutura de cobertura e de fechamento lateral, (c) telhas de cobertura e de fechamento lateral, e (d) pós-telha. Pode também existir uma subetapa específica de estrutura secundária e outra de pontes rolantes.

A Figura 34 apresenta um exemplo de cronograma de um empreendimento dividido em três etapas (1, 2 e 3). No exemplo, a obra possui uma subetapa do tipo chumbadores (A.1), três subetapas do tipo estrutura (A.3), três subetapas do tipo telha (B.1) e três subetapas do tipo pós-telha (B.3). Assim, a sequência em que os produtos de cada etapa são entregues na obra é: subetapa 1A.1 (quando existente), seguida pela subetapa 1A.3, depois 1B.1 e, por fim, subetapa 1B.3.

	Projeto		PCP da fábrica		Manufatura		Logística		Montagem	
	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final
ETAPA 1	25/07/11	09/09/11	06/08/11	22/09/11	12/08/11	11/10/11	19/08/11	16/10/11	03/10/11	30/10/11
subetapas										
01A.1	25/07/11	05/08/11	06/08/11	11/08/11	12/08/11	18/08/11	19/08/11	21/08/11		
01A.3	01/08/11	02/09/11	03/09/11	08/09/11	09/09/11	27/09/11	28/09/11	02/10/11	03/10/11	18/10/11
01B.1	08/08/11	09/09/11	10/09/11	15/09/11	16/09/11	04/10/11	05/10/11	09/10/11	10/10/11	20/10/11
01B.3	08/08/11	09/09/11	10/09/11	22/09/11	23/09/11	11/10/11	12/10/11	16/10/11	17/10/11	30/10/11
ETAPA 2	05/09/11	22/09/11	16/09/11	05/10/11	22/09/11	24/10/11	11/10/11	29/10/11	16/10/11	17/11/11
subetapas										
02A.3	05/09/11	15/09/11	16/09/11	21/09/11	22/09/11	10/10/11	11/10/11	15/10/11	16/10/11	02/11/11
02B.1	12/09/11	22/09/11	23/09/11	28/09/11	29/09/11	17/10/11	18/10/11	22/10/11	23/10/11	07/11/11
02B.3	12/09/11	22/09/11	23/09/11	05/10/11	06/10/11	24/10/11	25/10/11	29/10/11	30/10/11	17/11/11
ETAPA 3	16/09/11	06/10/11	30/09/11	19/10/11	06/10/11	07/11/11	25/10/11	12/11/11	30/10/11	30/11/11
subetapas										
03A.3	16/09/11	29/09/11	30/09/11	05/10/11	06/10/11	24/10/11	25/10/11	29/10/11	30/10/11	15/11/11
03B.1	23/09/11	06/10/11	07/10/11	12/10/11	13/10/11	31/10/11	01/11/11	05/11/11	06/11/11	20/11/11
03B.3	23/09/11	06/10/11	07/10/11	19/10/11	20/10/11	07/11/11	08/11/11	12/11/11	13/11/11	30/11/11

Figura 34: Exemplo de cronograma elaborado pelo setor de Planejamento

Cada subetapa contém uma variedade de produtos que são fabricados em linhas de produção diferentes ou, em alguns casos, são adquiridos de fornecedores terceirizados. Por exemplo, a subetapa pós-telha pode ser composta por: (a) calhas e acessórios de fixação, (b) sistema de ventilação (estrutura, telhas e acessórios), (c) sistema de iluminação (calhas, placas prismáticas, estrutura e acessórios), e (d) os diversos arremates necessários para a vedação e estanqueidade do sistema.

Apesar de utilizar as subetapas para definir os lotes de produção dos setores e a sequência de execução da obra, o desempenho todos os setores da empresa eram avaliados principalmente com base em um indicador referente à quantidade em toneladas de componentes metálicos processada por mês. Segundo relato dos funcionários dos diferentes setores, o uso desta métrica, em algumas situações, pode contribuir para que ocorram atrasos na produção de lotes mais leves, pois, em função do estímulo para atingir as metas em peso, são produzidos, primeiramente, os lotes mais pesados, ao passo que deveriam ser produzidos os lotes das subetapas previstas no planejamento. Esse fato pode resultar em atrasos na produção das subetapas completas e, conseqüentemente, atrasos na montagem da obra.

5.1.1 Processo de PCP existente nas obras da empresa

Para a caracterização do processo de desenvolvimento do produto da empresa, foram feitas visitas em quatro obras, com duração de um dia em cada obra. Nestas obras, constatou-se que, após o início do processo de montagem, alguns engenheiros utilizam o plano-mestre do empreendimento, elaborado pelo setor de planejamento, como base para o desenvolvimento de um processo de planejamento de longo prazo, cujo resultado é um plano que contém um detalhamento de todos os serviços a serem realizados em obra, com planejamento dos recursos e definição do plano de ataque. Os engenheiros de montagem geralmente elaboram

esse planejamento utilizando as informações de produtividade das equipes por serviço, obtidas com base na experiência de montagem em outras obras. Porém, essa rotina não é comum a todas as obras, sendo que geralmente cada engenheiro realiza o PCP de maneira distinta, sendo que muitas vezes esse processo é realizado de maneira informal.

Constatou-se que, de maneira geral, não é feito o planejamento do *layout* de canteiro, notando-se que nessas obras, em geral, o material era estocado distante do local de montagem. Normalmente, quando a área do canteiro de obras era grande, formavam-se vários pontos de estoques. Por outro lado, quando a área de estocagem era pequena, também existiam problemas, pois todos os materiais eram estocados próximos, sem organização por etapas ou subetapas. Os diferentes posicionamentos de estoques citados são ilustrados na Figura 35.



Figura 35: Pontos de estoque de materiais obras visitadas

Além disso, apesar de não ter sido medido, observou-se no canteiro a existência de muitas etapas, cuja montagem de alguma de suas subetapas havia iniciado, porém, no período do acompanhamento, tal processo estava paralisado. Esse problema muitas vezes ocorria, pois as equipes despendiam muito tempo procurando as peças no canteiro, de maneira a dificultar

que os serviços pudessem ser executados sem interrupções. Verificou-se, também, que ocorriam atrasos na entrega de materiais e que algumas subetapas entregues chegavam incompletas, ou seja, faltando algumas peças. Ambos os fatos contribuíam para que ocorressem paralisações nas frentes de trabalho.

Uma rotina comum a todas as obras era a elaboração, por parte dos engenheiros de montagem, de um relatório enviado semanalmente para a gerência de montagem e para a diretoria da empresa. Este relatório era elaborado de acordo com um modelo-padrão de planilha feita no *software Excel*, estando composto por informações relativas ao cronograma real executado da obra, indicador de avanço físico - gráfico curva S (Figura 36), informações de efetivo e equipamentos utilizados em cada dia de montagem, algumas fotos e registros de problemas.

Por meio de análises de relatórios de diferentes obras observou-se que os problemas eram efetivamente formalizados nos relatórios, somente quando resultavam na não conclusão de uma atividade de montagem, o que conseqüentemente poderia resultar em um atraso no prazo de entrega da obra. Portanto, os problemas registrados geralmente estavam associados ao processo de montagem e resultavam em despesas extras com materiais ou mão de obra, na tentativa de evitar o possível atraso no processo de montagem. Em contrapartida, normalmente não eram registrados nos relatórios os problemas rotineiros, tais como retrabalhos, problemas de qualidade dos materiais entregues, envio incorreto ou incompleto de peças, ou atraso na chegada de materiais, cujo registro poderia contribuir para a melhoria de diferentes processos da empresa.

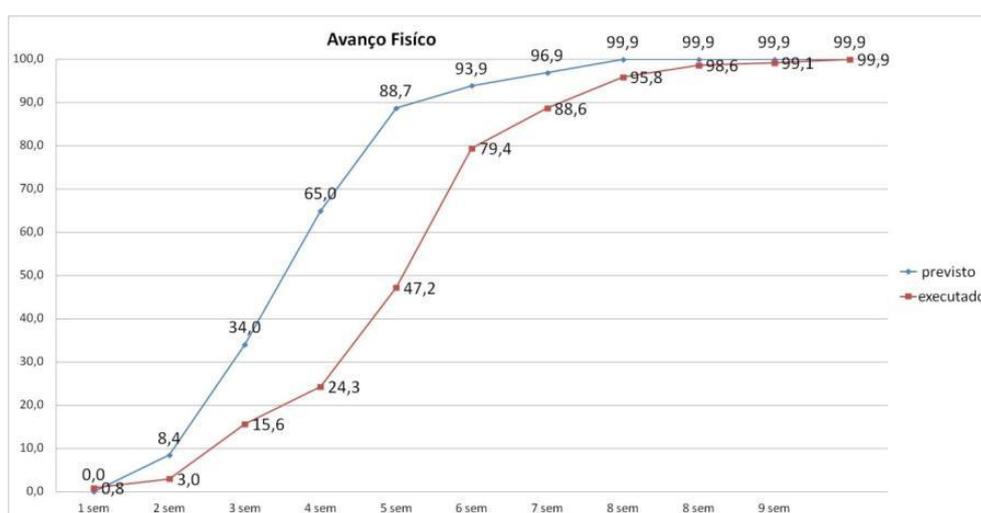


Figura 36: Indicador de avanço físico

5.2 ESTUDO EMPÍRICO A

5.2.1 Diagnóstico do Processo de PCP da Obra A

No início da execução da obra A, a equipe de gerência (engenheiro de montagem e coordenador de contrato) recebeu o plano-mestre, o qual previa as datas de início e fim de montagem de todas as etapas e subetapas do empreendimento. No entanto, após as primeiras semanas de execução, os gestores da obra identificaram que apenas as informações contidas no plano-mestre não eram suficientes para orientar a execução da obra.

Além disso, devido principalmente à solução do projeto adotada para a estrutura secundária desse empreendimento, os índices de produtividade de alguns serviços foram mais baixos do que o esperado, resultando em atrasos no avanço físico (Figura 37). Diante deste problema, nas semanas anteriores ao período de acompanhamento deste estudo, a equipe de gerência da obra tomou a decisão de revisar o plano de longo prazo, replanejando a execução do empreendimento.

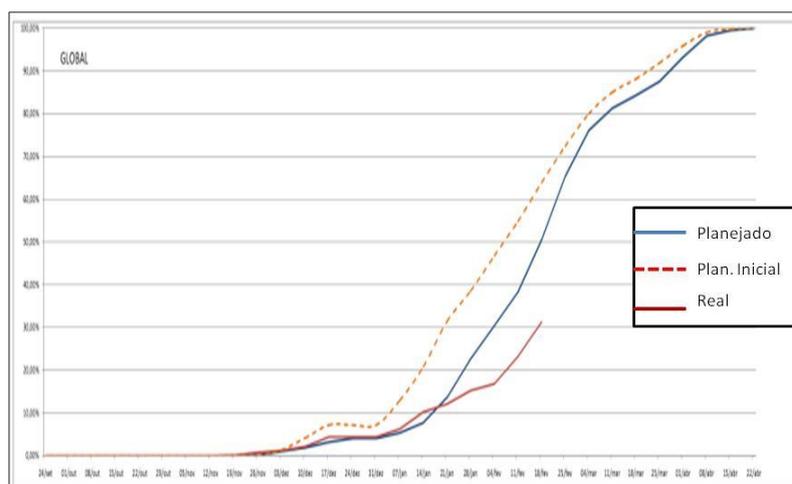


Figura 37: Indicador de avanço físico - obra A

O novo processo de planejamento em nível de longo prazo também envolveu o planejamento detalhado dos recursos necessários para realizar a montagem de cada serviço, tais como mão de obra e equipamentos para todo o período de execução da obra. Um extrato da programação de recursos é apresentado na Figura 38, referente à etapa 11, entre as semanas 15 e 17.

			semana 15							semana 16							semana 17						
			seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb	dom
			21/2	22/2	23/2	24/2	25/2	26/2	27/2	28/2	1/3	2/3	3/3	4/3	5/3	6/3	7/3	8/3	9/3	10/3	11/3	12/3	13/3
Etapa 11																							
Subetapas	Recursos	Atividades																					
11A Estrutura Principal	Mão-de-obra	lçamento treliça principal	7	7	7	7																	
	PLATAFORMA		1	1	1	1																	
	GUINDASTE		1	1	1	1																	
	Mão-de-obra	lçamento treliça plana	4	4	4	4																	
	MUNCK		1	1	1	1																	
	Mão-de-obra	contraventamento		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
	PLATAFORMA				4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
11B Cobertura	Mão-de-obra	fabricação telha					2	2	2	2													
11B.2 Acessórios da Cobertura	Mão-de-obra	execução cobertura zenitais e arremates						7	7	7	7												
11B.1 Fechamento Lateral	Mão-de-obra	estrutura de fechamento lateral						4	4							4	4	4	4				
	PLATAFORMA							1	1									1	1				
	MUNCK							1	1							1	1	1	1				
	Mão-de-obra	telha de fechamento e arremates																		4	4	4	4
	PLATAFORMA																			1	1	1	1

Figura 38: Extrato do plano de longo prazo detalhado - obra A

Na revisão do plano de longo prazo não foram envolvidos os representantes das equipes das empresas subcontratadas. Em função disso, a sequência real de execução dos serviços em obra geralmente divergia do planejado. Ademais, como não era realizado periodicamente o controle dos serviços em execução, essas divergências, entre a sequência de serviços planejado e aquela realmente executada, não eram corrigidas e ampliavam-se com o tempo.

Ainda no período do acompanhamento, observou-se que as medições de serviços das empresas subcontratadas, realizadas mensalmente pela empresa X, baseavam-se no percentual de sistemas montados em relação ao orçamento, independentemente de a execução ter sido realizada de acordo com a sequência de montagem planejada. Assim, os materiais mais pesados fisicamente (estruturas principais e secundárias), por significarem medições de maior retorno financeiro, eram montados em um primeiro momento. As consequências desse sequenciamento de montagem em desacordo com a sequência de subetapas planejada eram o aumento da quantidade de materiais estocados no canteiro, visto que o início da montagem das subetapas, que incluíam produtos mais leves, acabava sendo postergado, porém a entrega do material em obra continuava ocorrendo de acordo com a sequência planejada, sem considerar o atraso da obra.

Nesse empreendimento, antes da realização do presente estudo, a empresa havia tentado implementar o Sistema *Last Planner* para que fosse realizado o processo de PCP a de médio e curto prazos. Contudo, a iniciativa não foi bem sucedida, uma vez que o processo em nível de médio prazo não havia sido implementado, enquanto que a curto prazo não foram realizadas reuniões formais para planejamento e controle da produção. Os planos de curto prazo eram elaborados pelo coordenador de contratos ou pelo engenheiro de montagem,

sendo tais informações passadas para as equipes de montagem de maneira informal. Com esse tipo de implementação, o sistema mostrou-se ineficaz, não sendo capaz de envolver e conscientizar as equipes sobre a importância do planejamento, resultando em poucos benefícios ao andamento do processo de montagem na obra.

5.2.2 Fluxograma das Atividades de Montagem

Para que fosse possível compreender o sequenciamento das atividades de montagem da obra A, foi elaborado um fluxograma (Figura 41) representando as atividades e os respectivos tempos envolvidos na montagem de uma etapa do empreendimento. A duração de cada atividade foi estimada com base em informações fornecidas pela equipe gerencial da obra e pela equipe de montagem, refletindo os tempos médios de execução. As atividades mapeadas incluem tanto atividades que agregam valor como atividades que não agregam valor, mas que são consideradas pela empresa como auxiliares para a conclusão da montagem da etapa.

O fluxograma inicia pelo descarregamento de materiais: o material da etapa era entregue por subetapas em dias e cargas diferentes e, por isso, a duração média da atividade de descarregamento, da etapa completa, era de três dias. Para ser entregue uma subetapa completa, em média três caminhões chegavam à obra e o material de cada carga geralmente era estocado em diferentes pontos distribuídos pelo canteiro. Posteriormente, como os pontos de estoque não eram planejados e organizados formalmente, era necessária a realização de uma atividade composta por duas atividades que não agregam valor ao produto: procurar e transportar, dos diferentes pontos de estoque, as peças, para que pudessem ser realizadas as atividades subsequentes (Figura 39).



Figura 39: Serviço de procura e transporte de material

As atividades seguintes eram a pré-montagem das treliças principais (três treliças por etapa) e a pré-montagem das treliças planas - estrutura secundária (a quantidade variava por etapa), ambos normalmente executados simultaneamente (Figura 40).



Figura 40: Pré-montagem da treliça principal e das treliças planas (estrutura secundária)

A atividade subsequente era o içamento das treliças principais, ou seja, a montagem dessas peças na posição definitiva. Na sequência, a atividade era transportar as treliças planas da área de pré-montagem para a área de içamento e montagem definitiva. Posteriormente, as treliças planas eram limpas, içadas e montadas. A atividade seguinte, contraventamento e alinhamento das treliças planas, era considerada pela equipe de montagem a atividade gargalo do processo de montagem de uma etapa, uma vez que, enquanto essa atividade tinha historicamente duração média de quatro dias por etapa, nesse empreendimento, devido à solução de projeto adotada para as estruturas secundárias, a duração média era de 19 dias.

Com a estrutura de cobertura concluída abriam-se outras duas frentes de serviço: a montagem da cobertura (telhas, isolamento termoacústico, calhas e arremates) e a montagem da estrutura de fechamento lateral. Por fim, as duas últimas atividades eram a montagem dos sistemas de iluminação e a montagem das telhas do fechamento lateral.

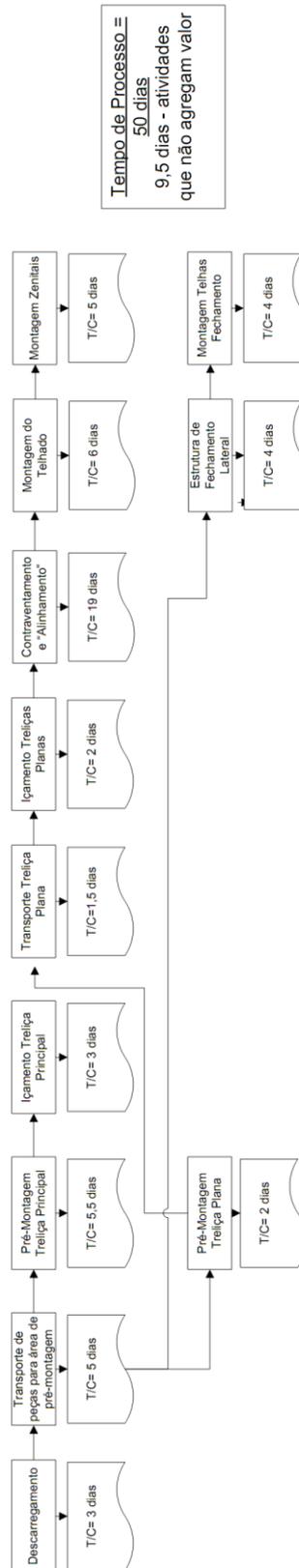


Figura 41: Fluxograma - obra A – Montagem-etapa

5.2.3 Diagrama do Processo de Contraventamento

Para exemplificar a variabilidade existente nos passos para a execução de diferentes processos da obra, elaborou-se um diagrama do processo de montagem do contraventamento das estruturas de cobertura. Com essa finalidade, foram acompanhados e medidos os tempos de seis ciclos de produção de duas equipes diferentes, a equipe T, composta pelos operadores 1 e 2, e a equipe U, composta pelos operadores 3 e 4. As operações e os respectivos tempos médio são apresentados na Figura 42.

As medições foram realizadas com a utilização de um cronômetro, iniciando no momento em que os operadores iniciavam a operação 1 e finalizada quando os mesmos concluíam a última operação. Essa atividade foi escolhida para ser analisada, pois fazia parte da atividade gargalo da montagem da etapa, “alinhamento e contraventamento das estruturas secundárias”.

Funcionário	Sub-processo	Tempo (s)		
Operador 1	Montagem contraventamento cobertura			
	1 Movimenta plataforma para se posicionar	45	30	⇒
	2 Pega peça entrega ponta tirante para operador 2	15	15	⇒
	3 Desrosqueia ponta do tirante	15	15	○
	4 Rosqueia ponta do tirante na estrutura	15	20	○
	5 Movimenta plataforma	20	10	⇒
	6 Pega o segundo tirante na plataforma entrega uma ponta para operador 2	15	15	⇒
	7 Desrosqueia ponta do segundo tirante	10	10	○
	8 Rosqueia ponta do tirante na estrutura	15	15	○
		150	130	
Operador 3	Montagem contraventamento cobertura			
	1 Movimenta plataforma para se posicionar	50	65	⇒
	2 Pega peça entrega ponta do primeiro tirante para operador 4	15	20	⇒
	3 Pega peça entrega ponta do segundo tirante para operador 4	35	45	⇒
	4 Movimenta plataforma para montar primeiro tirante	50	50	⇒
	5 Desrosqueia ponta do primeiro tirante	10	20	○
	6 Rosqueia ponta do tirante na estrutura	15	30	○
	7 Movimenta plataforma para montar segundo tirante	20	15	⇒
	8 Desrosqueia ponta do segundo tirante	10	20	○
	9 Rosqueia ponta do tirante na estrutura	15	15	○
		220	280	

Figura 42: Mapeamento: Montagem dos contraventos da cobertura - equipes T e U

A Figura 42 indica que, para a execução do processo de montagem do contraventamento da estrutura de cobertura, as equipes T e U processam o mesmo produto executando passos diferentes, indicando falta de padronização das operações, com conseqüente variação do tempo de execução do serviço. Esse problema indicou oportunidades de melhorias na gestão de processos, principalmente pela a elaboração de um modelo de operações-padrão e a

realização de treinamentos. Tais melhorias poderiam contribuir para evidentemente melhorar a segurança da atividade e a qualidade do produto final.

Observou-se, de maneira geral, que os problemas diagnosticados no processo eram comuns a outros processos existentes em obra, pois, após a realização desse acompanhamento, os dados foram discutidos com os engenheiros e com o coordenador de obras, os quais relataram que muitas atividades eram executadas pelas equipes de maneiras diferentes.

5.2.4 Mapeamento dos Estoques

Neste estudo, foi elaborado um mapa do canteiro de obras (Figura 43), indicando os pontos de estoque de materiais e as frentes de trabalho. As informações para montagem do mapa foram obtidas por meio de observações diretas dos pontos de estoque e em entrevistas abertas com membro das equipes de montagem. Com base neste mapa é possível observar que havia diversos pontos de estoque localizados a uma grande distância das respectivas frentes de montagem (etapas), o que elevava o tempo gasto com as atividades que não agregam valor, tais como procura e transporte de materiais.

Como foi dito, durante o período de acompanhamento da obra verificou-se que não havia um planejamento e um controle dos pontos de estocagem de materiais. Os encarregados das empresas subcontratadas é que definiam onde descarregar cada nova carga, os quais tomavam essa decisão usando como critério o espaço disponível no momento da realização do serviço. Além disso, os produtos estocados no canteiro ficavam expostos às intempéries, podendo ocorrer perda das características de desempenho e qualidade do material. Havia também o risco de algumas peças serem danificadas devido ao trânsito de veículos e equipamentos na área de armazenamento ou até mesmo serem perdidas pelo canteiro.

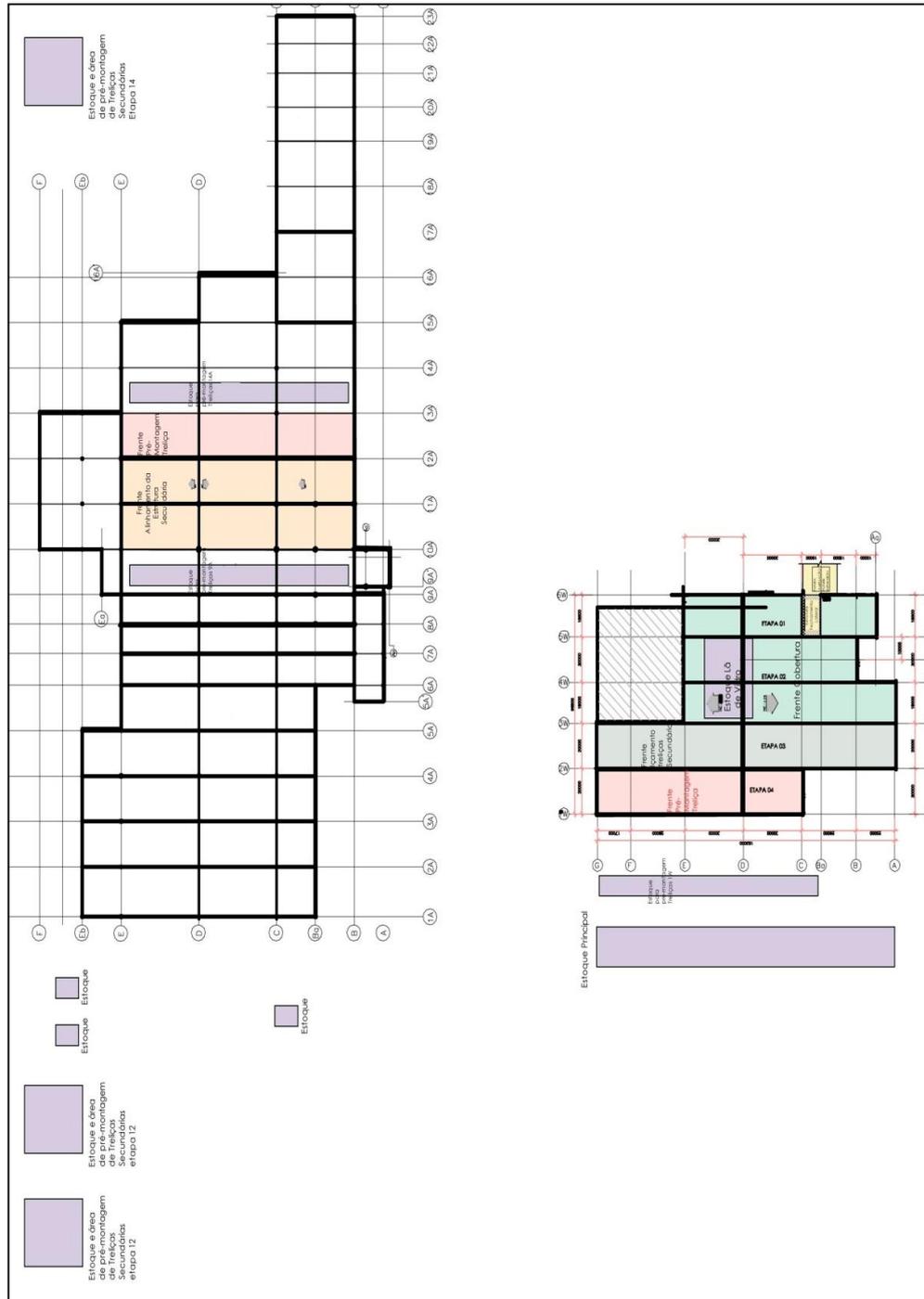


Figura 43: Mapeamento de estoques e frentes de montagem - obra A

5.3 ESTUDO EMPÍRICO B

5.3.1 Diagnóstico do Processo de PCP da Obra B

Como ocorreu no estudo anterior, no início da execução da obra B a equipe de gestão (engenheiro de montagem e coordenador de contrato) recebeu o plano-mestre que previa as datas de início e fim de montagem de todas as etapas e subetapas do empreendimento. No entanto, na quarta semana de execução foi identificado que os índices de produtividade das equipes da empresa subcontratada para a montagem estavam abaixo dos valores esperados. Além disso, no mesmo período, o cliente solicitou alteração na sequência de montagem do empreendimento.

Os fatores citados contribuíram para que ocorresse um atraso no processo de montagem da obra, sendo necessário um replanejamento do empreendimento, a fim de definir um plano de ação para recuperar os serviços atrasados e adequar o planejamento ao novo sequenciamento de execução. Assim, foi gerado um novo plano de longo prazo, o qual continha também um detalhamento da programação de mão de obra necessária para o desenvolvimento de cada atividade. Portanto, esse plano de longo prazo era mais detalhado do que o plano original (Figura 44).

	Montagem	###	1/3	2/3	3/3	4/3	5/3
EATAPA	04 Bloco B - Eixos 21 a 25						
Subetapa	04A Estrutura						
Subetapa	04A.2 Estrutura Secundária						
Atividade	Fechamento Lateral Eixo K						5
Atividade	Fechamento Lateral Eixo B						
Subetapa	04B Telha de cobertura						
Subetapa	04B.1 Pós-Telha						
Atividade	Sistema de Iluminação		3	3	3	3	3
Atividade	Sistema de Ventilação			4	4	4	4
Atividade	Telhas de Fechamento EIXO K						
Atividade	Telhas de Fechamento EIXO B						
Atividade	Calhas						
Atividade	Capas Coroamento Eixo K						
Atividade	Capas Coroamento Eixo B						
EATAPA	02 Bloco B - Eixos 17 a 21						
Subetapa	02A Estrutura						
Subetapa	02A.2 Estrutura Secundária						
Atividade	Fechamento Lateral Eixo K				5	5	
Atividade	Fechamento Lateral Eixo B						
Subetapa	02B Telha de cobertura		13				
Subetapa	02B.1 Pós-Telha						
Atividade	Sistema de Iluminação						3
Atividade	Sistema de Ventilação						
Atividade	Telhas de Fechamento EIXO K						
Atividade	Telhas de Fechamento EIXO B						
Atividade	Calhas						
Atividade	Capas Coroamento Eixo K						
Atividade	Capas Coroamento Eixo B						

Figura 44: Extrato do plano de longo prazo detalhado - obra B

Além disso, uma vez por semana, o engenheiro de montagem monitorava a execução dos serviços na obra, por meio de análises visuais dos processos de montagem que ocorriam no canteiro e por meio de conversas com os encarregados da empresa subcontratada. Nessas conversas ele também informava para as equipes a meta de execução da semana seguinte, a qual era baseada no plano de longo prazo.

A partir da participação da pesquisadora em algumas reuniões foi possível observar que as equipes de montagem estavam acostumadas a tomar decisões com relação ao plano de ataque da obra informalmente, sem levar em consideração o plano de longo prazo. A sequência de montagem preferida pelas empresas subcontratadas variava de acordo com a especialidade das equipes e dos equipamentos disponíveis para enviar a cada obra, pois, como executam várias obras simultaneamente, dividiam seus recursos entre as mesmas. Ademais, essas equipes priorizavam a execução dos serviços que envolviam as estruturas mais pesadas, o que resultava em medições de serviços com valores maiores no início da montagem.

Assim, apesar de a empresa X planejar a montagem da obra de acordo com sequência de etapas e subetapas, as quais deveriam ser montadas completas, o sequenciamento real dificilmente ocorria conforme planejado. Nessa obra, por exemplo, no início do processo de montagem, a empresa subcontratada enviou apenas a equipe de estruturas. Somente quando havia um grande estoque de outros tipos de subetapas acumuladas no canteiro e várias frentes de serviços a serem iniciadas é que foram enviadas as equipes de outras especialidades, tais como de equipe de montagem da cobertura e de fechamento lateral.

Também foi diagnosticado que havia problemas relacionados ao processo de entregas de materiais. Para exemplificar o problema, elaborou-se a Figura 45, a qual apresenta um extrato da planilha de controle das subetapas entregues, indicando os dias de atraso ou adiantamento das entregas. Na Figura 45, números negativos indicam a quantidade de dias em que o material foi entregue antes da data prevista em cronograma, enquanto valores positivos indicam os dias de atraso na entrega. Se os valores fossem iguais a zero, significa que o material foi entregue exatamente na data planejada.

Etapas e Subetapas	Dias de Atraso
03 Bloco B - Eixos 5 a 9	
03A Estrutura	0
03A.2 Estrutura Secundária	-9
03B Telha de cobertura	-1
03B.1 Pós-Telha	4
04 Bloco B - Eixos 21 a 25	
04A Estrutura	-3
04A.2 Estrutura Secundária	-11
04B Telha de cobertura	-2
04B.1 Pós-Telha	-2

Figura 45: Extrato do documento de controle de entrega de materiais

5.3.2 Fluxograma do Processo de Montagem

Com a finalidade de compreender como era o processo de montagem de uma etapa nessa obra, foi elaborado um fluxograma apresentado na Figura 46, o qual representa todas as atividades e os respectivos tempos envolvidos na montagem de uma etapa do galpão principal.

A primeira atividade realizada nessa obra era o descarregamento de materiais, cuja duração média para o descarregamento de cada etapa era de um dia, duração essa inferior à da mesma atividade no estudo anterior, uma vez que a quantidade de materiais que compunha uma etapa dessa obra era inferior à da obra A. Na sequência, as atividades seguintes eram a pré-montagem das estruturas secundárias (treliças semiespaciais) e içamento, além de montagem das vigas principais, ambas normalmente executadas ao mesmo tempo. Após a conclusão da pré-montagem das treliças semiespaciais, as mesmas eram içadas e montadas na posição definitiva. Essa atividade somente podia ser executada após o processo de montagem e içamento das vigas.

Posteriormente, abriram-se duas frentes de serviços, o contraventamento e o alinhamento das estruturas secundárias (treliças semiespaciais), além da montagem da estrutura de fechamento lateral. Com a conclusão do serviço de contraventamento e alinhamento, iniciava-se o de montagem das telhas de cobertura e, a partir da conclusão da estrutura de fechamento lateral, dava-se início à montagem das telhas de fechamento lateral. Finalizada a montagem das telhas de cobertura, executava-se a montagem dos sistemas de ventilação e iluminação. Além disso, se o serviço de montagem das telhas de fechamento lateral também já estivesse finalizado, era efetuada simultaneamente a montagem das calhas e arremates.

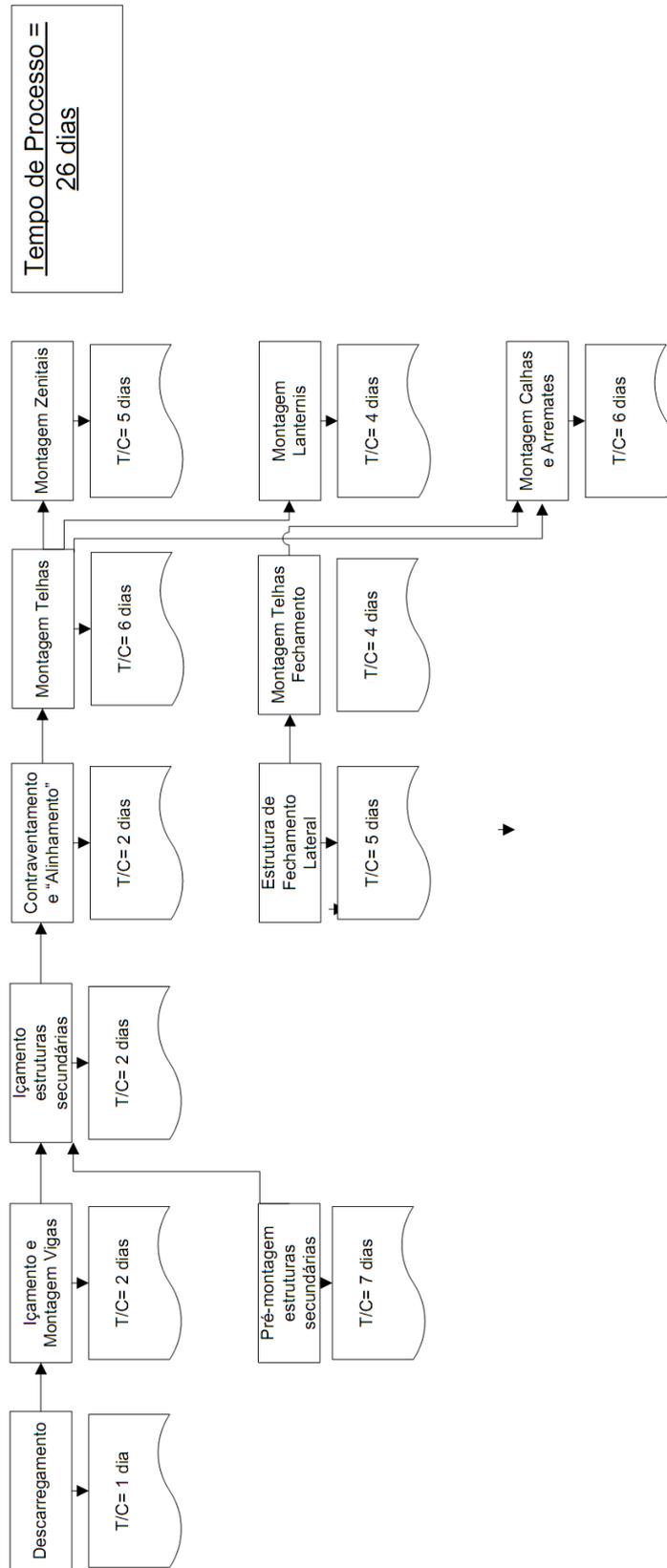


Figura 46: Fluxograma - obra B – Montagem etapa

5.3.3 Diagrama do Processo de Montagem das Vigas de Cobertura

Para exemplificar a grande quantidade de interrupções que ocorriam durante a execução das atividades desenvolvidas no canteiro de obras, elaborou-se um diagrama do processo de montagem de vigas de cobertura - estrutura principal. Esse processo era considerado o crítico, pois o atraso na sua execução significava atraso em todos os serviços subsequentes.

Então, a partir de observações da montagem das vigas Y e Z, elaborou-se o diagrama do processo, apresentado na Figura 48. Analisando-se a Figura 48, pode-se observar que o tempo total do processo de montagem das duas vigas foi de 340 minutos, o qual era composto por atividades de fluxo e de processamento. Notou-se que era gasta grande parte do tempo com transporte dos componentes das vigas (75 minutos). A elevada duração era consequência principalmente da falta de planejamento do *layout* do canteiro, pois, como os estoques de materiais geralmente estavam espalhados em diferentes áreas, eram percorridas maiores distâncias, o que, conseqüentemente, elevava o tempo gasto com essa atividade de fluxo.

O tempo total de interrupções durante o período de observações foi de 105 minutos, ou seja, o tempo total de montagem poderia ser reduzido em 30,9%, com a redução das atividades de fluxo. Ainda, foram gastos 45 minutos com atividades de retrabalho, ocasionadas principalmente pela locação incorreta dos chumbadores no topo dos pilares de concreto pré-moldados, sendo que esse problema exigia que fosse feita uma nova furação e pintura nas extremidades da viga metálica (Figura 47).



Figura 47: Retrabalho na viga de cobertura Z

Assim, somados os tempos totais de montagem das vigas Y e Z, 33% do mesmo foram gastos com atividades de montagem, sendo o restante gasto com atividades de fluxo, as quais poderiam ser minimizadas, tendo-se como meta a sua eliminação.

Processo: Içamento e Montagem de Vigas		
	Descrição das Atividades	Tempo (min)
	Inicia içamento viga Y	5
	Posicionamento e Aparafusamento do pilarete 1 no pilar do eixo G	20
	Movimento para fazer emenda com a viga I (já içada)	5
	Aperto dos parafusos da emenda (Y e I)	10
	Movimento para o centro da peça para soltar cintas do munk	5
	Desce da viga pela plataforma	5
	Munk vai buscar as peças da viga Z no estoque	10
Chega uma carreta com materiais etapa 6		
	Carregamento da viga Z para a carroceria do munk	10
	Munk movimenta-se para descarregar a carreta que chegou	5
	Descarregamento da Carreta	75
	Movimentação c/ o munk de algumas Medajoist em estoque (liberar passagem)	20
	Equipe e Munk retorna para a área de içamento da viga Z	5
	Descarregamento das peças da viga Z	10
	Aumento do diâmetro dos furos dos 2 pilaretes de apoio da viga Z	10
	Aparafusamento no chão das 2 emendas das peças	25
	Retoque da pintura da viga e pilaretes	25
	Torqueamento dos parafusos das 2 emendas	5
	A peça é içada para receber pintura na face inferior	5
	Pintura face inferior da peça	10
	Peça é içada para montagem	5
	Posicionamento e Aparafusamento do pilarete 1 no pilar do eixo E	5
	Deslocamento para extremidade do eixo B, para encaixe do pilarete 2	5
	Posicionamento e Aparafusamento do pilarete 2 no pilar do eixo B	40
	Deslocamento montador para extremidade G	5
	Aparafusamento de emenda com a viga Y	10
	Montador desloca e solta cinta do munk	5
Tempo total do Processo		340

Análise do Fluxo de Trabalho:	
Atividades de fluxo	T (min)
Tempo transporte atividades extras	105
Tempo transporte atividades com as vigas	75
Tempo Total com transporte	180
Tempo atividades de retrabalho viga Z	45

Atividades de conversão	
Atividades de conversão	T (min)
Tempo atividades de conversão viga Y	30
Tempo atividades de conversão viga Z	85
Tempo total atividades de conversão	115

Legenda:	
Processo Viga Y	
Atividades que não fazem parte do processo estudado	
Processo Viga Z	

Símbolos:	
Transporte Materiais / Movimentação Pessoas	
Conversão	
Retrabalho	

Figura 48: Diagrama de processo de montagem de vigas de cobertura

5.3.4 Mapeamento dos Estoques

Durante a realização deste estudo, elaborou-se um mapa do canteiro de obras (Figura 50), com indicação das áreas onde eram estocados os materiais. Este mapeamento foi realizado com base na configuração do canteiro no quarto dia de acompanhamento, por meio de observações diretas dos pontos de estoque e entrevistas abertas com membros das equipes de montagem, a fim de compreender quais eram as frentes de serviço em execução.

Pode-se observar na Figura 50 que na área do galpão principal (oito etapas) havia 22 pontos de estoques, os quais são ilustrados com fotos na Figura 49. Ademais, com as observações em campo dos materiais que estavam armazenados nos pontos de estoque, verificou-se que em cada ponto havia materiais de diferentes subetapas. Por exemplo, nos estoques R e B, havia peças da etapa 7, cujo local de montagem estava distante de ambos.



Figura 49: Estoques de materiais

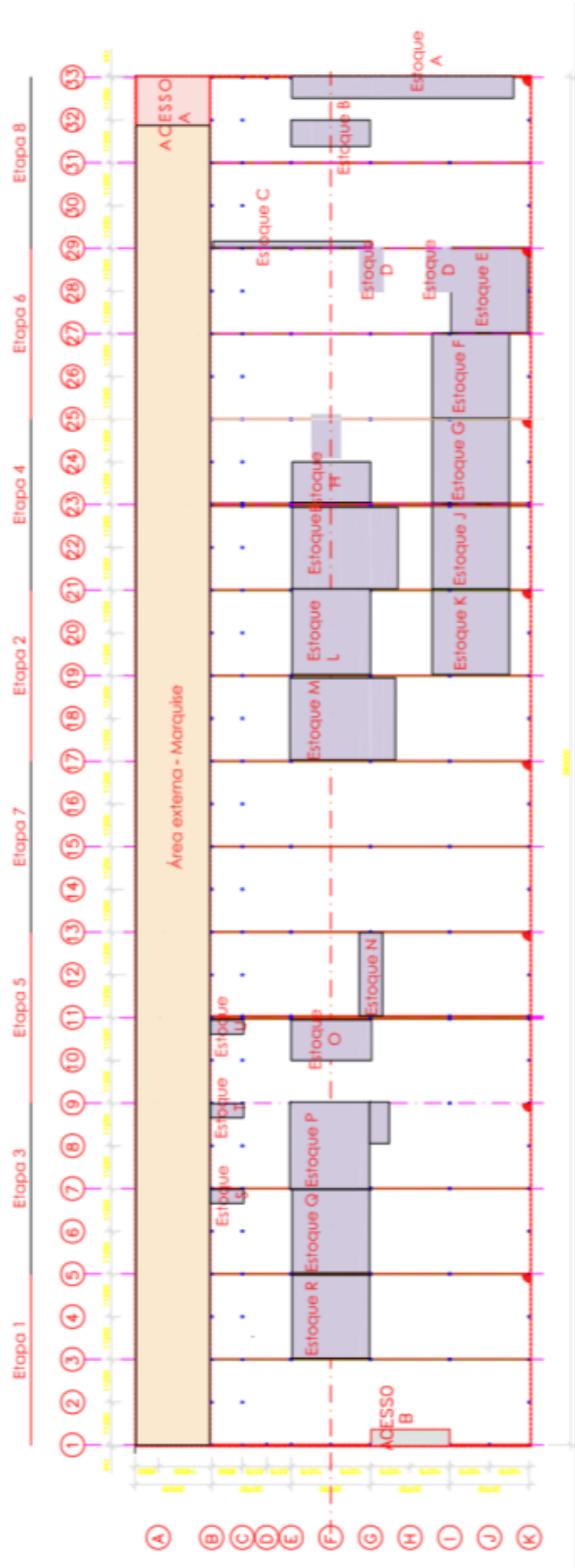


Figura 50: Mapeamento de estoques - obra B

5.3.5 Linha de Balanço

Conforme apresentado, a obra B constituía-se de um empreendimento menor, cujo galpão principal estava dividido em oito etapas. Assim, foi possível acompanhar por mais tempo a execução dos diferentes serviços, compreender a sequência de execução e medir a produtividade das equipes.

Assim, com os dados coletados (tamanho das equipes, ritmos, quantidade de atividades de montagem, sequência de execução e datas de entregas de materiais) utilizou-se a técnica da Linha de Balanço (LOB) para demonstrar à empresa as vantagens de realizar algumas mudanças no planejamento de montagem por meio da implementação de alguns conceitos, tais como a redução do tamanho do lote, fluxo ininterrupto e produção puxada, entre outros.

Desse modo, primeiramente reproduziu-se em formato de LOB (Figura 51) o planejamento das atividades que seriam executadas a partir da semana de acompanhamento. Com essa simulação, foi possível apontar problemas de sequenciamento das atividades e demonstrar o grande número de interrupções que estava ocorrendo no fluxo das equipes. A unidade de repetição adotada para o eixo vertical dessa LOB foi: a etapa, haja vista a existência de oito etapas na obra com características repetitivas (atividades, equipes, equipamentos).

Além disso, foram realizadas algumas alterações no formato da LOB tradicional, a fim de manter alguns elementos dos planos existentes na empresa, visando a facilitar a sua compreensão por parte da equipe da obra. Destaca-se entre as alterações o fato de que normalmente em uma LOB, para cada unidade de repetição, todas as diferentes atividades são apresentadas em uma única linha. Entretanto, neste trabalho, cada atividade de uma mesma etapa foi representada em linhas diferentes, pois, como muitas atividades de uma mesma etapa eram executadas simultaneamente, se fosse mantido o formato original de LOB, a visualização das atividades seria prejudicada, já que as diferentes atividades ficariam sobrepostas.

Cada etapa desse empreendimento envolvia 10 atividades (atividades: 1 - Pré-Montagem estruturas secundárias; 2 – Içamento e Montagem da estrutura principal e secundária; 3 – Içamento e Montagem da estrutura de fechamento lateral; 4 - Travamento da estrutura de cobertura; 5 – Montagem das telhas de cobertura; 6 – Montagem das telhas de fechamento lateral; 7 – Montagem sistema de ventilação; 8 – Montagem do sistema de iluminação; 9 – Montagem das calhas; 10 – Montagem dos arremates) e geralmente cada atividade era

executada por equipes diferentes, com exceção da atividade de montagem de calhas e da atividade de montagem de arremates, as quais eram executadas por uma mesma equipe.

Assim, cada cor de caixa apresentada na LOB representa uma equipe distinta e contém informações sobre a quantidade de operários que a compõem, e cada linha representa uma das atividades que são necessárias para a montagem completa da etapa. Destaca-se também que se adotou no eixo horizontal da LOB, a unidade de tempo: dias, o que também diverge dos formatos tradicionais de LOB, onde geralmente a unidade de tempo do eixo horizontal é: semanas. Essa alteração foi necessária, tendo em vista o curto prazo de execução da obra.

Na Figura 53, pode-se observar que o tempo de montagem seria o mesmo para todas as unidades de repetição com duração de 15 dias, enquanto o tempo de execução da obra completa passaria dos 83 dias planejados inicialmente para 43 dias. No entanto, para atender ao novo ritmo de execução da obra, seria necessária uma readequação do cronograma de fabricação dos materiais, sendo as novas datas de fabricação determinadas a partir das datas definidas para a montagem dos respectivos produtos.

5.4 DISCUSSÃO

Os estudos realizados nas obras A e B mostraram que, apesar de existir um processo de planejamento de longo prazo, o processo de tomada de decisão era demasiadamente centralizado pela equipe de gerência da obra, sendo difícil envolver e comprometer as equipes de montagem para que o plano seja executado de maneira eficaz.

Além disso, como era realizado um monitoramento das atividades, ou seja, a equipe de gerência apenas verificava as atividades concluídas e em andamento, geralmente eram tomadas medidas reativas, as quais dificilmente contribuíam para a recuperação de atrasos e para a prevenção dos problemas. Assim, faltava no processo uma postura pró-ativa para que efetivamente ocorresse a função controle da obra, em tempo real, a fim de orientar a realização de ações corretivas durante a execução do processo e com o papel de corrigir as causas estruturais dos problemas.

As conclusões são provenientes de algumas evidências, dentre as quais se destaca o indicador de avanço físico da obra A, o qual indicava atrasos no avanço físico, mesmo com as atividades de replanejamento, e a análise de entrevistas abertas realizadas nas obras A e B com a gerência da obra e com os encarregados das equipes das empresas subcontratadas. Com a realização das entrevistas com os encarregados, constatou-se que os mesmos não conheciam todo o plano de longo prazo e a tomada de decisão, sobre o sequenciamento de montagem da obra, não ocorria com base no planejamento da empresa X, mas, sim, de acordo com as especialidades das equipes e dos equipamentos que tinham disponíveis no canteiro e por motivações financeiras.

Desse modo, apenas quando o engenheiro de montagem solicitava prioridade para execução de alguma atividade específica ocorria uma convergência entre as atividades planejadas e as que estavam realmente sendo executadas. Porém, essa medida reativa e isolada não garantia que a sequência de execução das obras prosseguisse conforme o plano de longo prazo, pois,

tão logo finalizada a atividade prioritária, as equipes voltavam a executar as atividades que mais se adequavam às suas necessidades (financeiras e logísticas).

Além disso, o formato dos planos de longo prazo utilizados nas obras não permitia uma boa visualização do plano de ataque da obra, sendo pouco enfatizada a continuidade e a sincronização dos fluxos de trabalho das equipes. O uso da técnica da LOB no estudo B facilitou a visualização de alguns problemas existentes, dentre os quais se destacando as folgas entre as atividades em cada etapa, muitas interrupções no fluxo de trabalho e diferença de ritmos de produção das equipes.

Ainda, ao replanejar a obra utilizando a técnica da LOB e aplicando alguns conceitos e princípios da gestão da produção, tais como redução do tamanho dos lotes, balanceamento e sincronização do trabalho de diferentes equipes, produziu-se um novo plano, o qual apontou como potencial máximo a redução em 48,20% o prazo de execução da obra.

Ademais, observou-se que uma das principais dificuldades, historicamente enfrentadas em obra, era o atraso na entrega dos materiais de cada subetapa, uma vez que, semanalmente, as datas de entregas sofriam alterações, definidas em reuniões gerenciais que envolviam gestores dos diferentes setores da empresa. Porém, as decisões tomadas nas reuniões muitas vezes não consideravam o contexto geral das obras, uma vez que se baseavam em informações de demanda de algumas obras específicas, sem levar em consideração todo o cenário de obras. Havia também limitações de capacidade da fábrica, que igualmente influenciavam na ocorrência desses atrasos nas entregas.

Deve-se acrescentar, também, que as subetapas de materiais muitas vezes chegavam incompletas, ou seja, faltando algumas peças. As peças faltantes frequentemente eram pequenas e leves, mas sem as quais não era possível concluir, ou mesmo iniciar, a montagem da subetapa, o que contribuiu para a ocorrência de atrasos no andamento físico da obra.

Portanto, observou-se que o processo de PCP das obras possui características de um processo tradicional, tais como centralização, informalidade, excesso de detalhamento dos planos de longo prazo, pouca participação dos envolvidos e uso de indicadores de resultado.

Com relação ao *layout* do canteiro de ambas as obras, pode-se afirmar que não havia um planejamento e controle sobre o posicionamento dos materiais de cada subetapa. Assim, quando ocorria a chegada de materiais, os encarregados verificavam onde havia espaço para realizar o descarregamento, sem que fosse feita uma avaliação do melhor posicionamento do estoque, a fim de evitar movimentações excessivas. Além disso, como lotes de materiais de

uma mesma subetapa chegavam em cargas diferentes, os mesmos muitas vezes eram estocados em vários pontos espalhados pelo canteiro de obras. Logo, tornava necessária a existência de funcionários dedicados a localizar material pelo canteiro de obras, o que aumentava o tempo gasto com atividades que não agregam valor ao produto, contribuindo, também, para o aumento do índice de desperdício de material, pois muitas vezes as peças menores perdiam-se, sendo necessária sua reposição.

Com relação ao processo de montagem de uma etapa, de maneira geral este envolvia serviços similares, com algumas diferenças entre os passos de desenvolvimento das atividades.

Ainda observou-se que muitos dos problemas relacionados ao produto tinham origem nos processos de outros setores da empresa à montante da montagem, os quais se tornavam evidentes durante a fase de montagem da obra. Porém, as informações relacionadas às divergências entre projeto e produto, obtidas em obra, eram pouco aproveitadas pela empresa, não existindo um processo sistemático de *feedback* entre os setores.

Notou-se, também, que apesar de a empresa utilizar conceitos, princípios e ferramentas baseadas na produção enxuta, para melhorar e inovar processos anteriores à montagem, os mesmos eram utilizados fortemente em cada setor de maneira isolada, sendo necessário considerar, no processo de implementação de melhorias, uma visão sistêmica do processo.

6 RESULTADOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS NO PCP DE OBRA

Neste capítulo são apresentados os resultados dos estudos empíricos C, D e E. Inicialmente descreve-se, para cada estudo, a implementação do processo de Planejamento e Controle de Produção, assim como são apresentados e discutidos os resultados obtidos. Por fim, após a apresentação dos três estudos, é realizada uma análise cruzada dos resultados dos mesmos.

6.1 ESTUDO EMPÍRICO C

Com base nos resultados obtidos nos estudos empíricos A e B, foi definido como principal objetivo do estudo empírico C desenvolver e implementar um processo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) no processo de montagem. Para a implementação desse sistema, foram estabelecidas as seguintes diretrizes:

- Elaborar o PSP do empreendimento utilizando o modelo proposto no trabalho de Schramm (2004), a fim de explicitar e refinar o sistema de produção da empresa.
- Formalizar e hierarquizar o PCP, visando a aumentar a estabilidade e a confiabilidade do processo de montagem por meio da identificação e remoção das restrições.
- Planejar o *layout* do canteiro das obras, a fim de reduzir a parcela de atividades que não agregam valor, tais como transporte, estoque e procura por materiais (inspeção).

6.1.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra C

O Projeto do Sistema de Produção da obra C foi elaborado a partir da realização de cinco reuniões durante um período de três semanas, as quais envolveram o engenheiro de montagem, o encarregado da empresa A, subcontratada para montagem, e o coordenador de contratos.

Conforme já foi apresentado, este estudo ocorreu juntamente com o início da obra, pois o cronograma inicial desenvolvido pelo setor de planejamento da empresa marcava o início das primeiras atividades no canteiro de obras para o dia 25/04/2011. Porém, ocorreram atrasos em atividades de outras empresas, cujos processos antecederiam o início da execução do sistema construtivo metálico. O início das atividades na obra foi, então, no dia 04/05/2011, quando se realizou a primeira reunião para elaboração do PSP.

A primeira reunião teve duração de aproximadamente 60 minutos e envolveu o engenheiro de montagem e o coordenador de contratos. A pesquisadora ministrou uma palestra, explicando alguns conceitos e técnicas a serem utilizados no decorrer da pesquisa, tais como lote de produção, lote de transferência, produção puxada e empurrada, Sistema *Last Planner* e Linha de Balanço.

A segunda reunião foi realizada no dia seguinte, quando foi definida a sequência de execução da unidade-base (etapa do empreendimento) e também feito o pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção que seriam empregados para a execução de cada etapa. No entanto, como os encarregados das empresas A e M, que haviam sido subcontratadas para o processo de montagem, não puderam participar da reunião, decidiu-se que seriam feitas novas reuniões para envolvê-los no processo.

A terceira reunião ocorreu apenas no dia 17/05 e contou com a participação da pesquisadora, do engenheiro de montagem e do encarregado da empresa A. Inicialmente ministrou-se uma breve palestra, objetivando explicar o trabalho a ser realizado em obra para o encarregado, pois o mesmo não estava habituado a participar de reuniões de planejamento e tampouco conhecia as ferramentas a serem utilizadas. Nesse encontro foram obtidas informações adicionais sobre a capacidade produtiva da mão de obra e dos equipamentos e a sequência de execução dos serviços, a partir das quais se elaborou um diagrama de precedência entre as atividades (Figura 54) e uma planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção (Figura 55). Ambas referiam-se à unidade-base que, neste estudo, era representada pelas etapas do empreendimento.

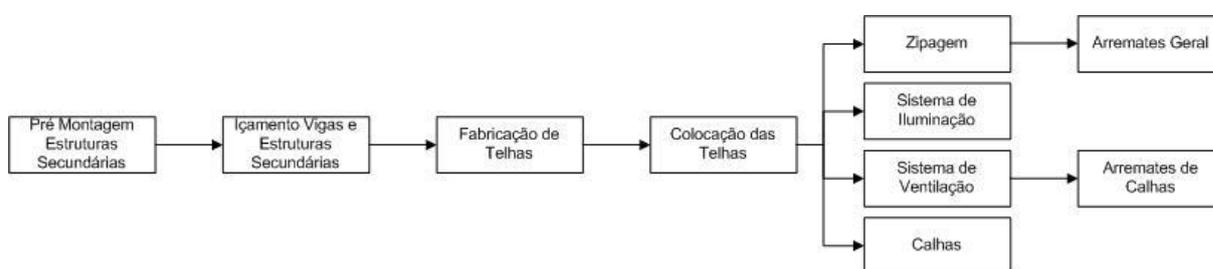


Figura 54: Diagrama de precedência das atividades – obra C

Planilha Seqüenciamento							
Obra: C						Data: 17/05/2011	
Participantes da elaboração: Eng de Montagem, Coordenador de Contratos, Encarregado de Montagem, Pesquisadora							
Equipe/ Líder	Atividades de acordo com a seqüência de execução	Recursos		Lote de Produção	Tempo de Ciclo	Lote de Transferência	Atividades Preced.
		Mão-de-obra	Equipamentos				
1 - M	Pré Montagem Estrutura Secundária	1 encarregado 4 ajudantes		1 etapa/ 36 pç	8 dias	1 etapa/ 36 pç	-
2 - M	Aperto Estrutura Secundária	2 ajudantes		1 etapa/ 36 pç	2 dias	1 etapa/ 36 pç	1
3 - A	Pré Montagem Vigas	2 ajudantes 1 operador	1 munck	1 etapa	3 dias	1 etapa	-
4 - A	Içamento Viga e Travamento	1 operador munck 4 ajudantes 1 operador munck externo	2 muncks 1 plataforma	1 etapa/ 36 pç	3 dias	1 etapa/ 36 pç	3 e pilares pré moldados
5 - A	Içamento Estrutura Secundária	1 operador munck 4 ajudantes 1 operador munck externo	2 muncks 1 plataforma	1 etapa/ 36 pç	3 dias	1/2 etapa/ 18 pç	4
6 - A	Travamento Estrutura Secundária	3 ajudantes		1 etapa	5 dias	1/2 etapa	5
7 - A	Torqueamento da Estrutura	1 ajudante		1 etapa	2 dias	1/2 etapa	5 e 6
8 - Empresa X/ A	Fabricação de Telhas	1 operador guindaste 1 operador perfiladeira 1 ajudante	1 perfiladeira 1 guindaste	1 etapa/ 2520 m ²	3 dias	1 etapa/ 2520 m ²	6 e 7

Figura 55: Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção – obra C

No dia seguinte, 18/05, durante a quarta reunião, com duração aproximada de uma hora, definiu-se a estratégia de execução do empreendimento, com a elaboração de um histograma de previsão da mão de obra que necessária para execução da obra, proveniente tanto da empresa M quanto da empresa A (Figura 56) e estudos do fluxo de trabalho de empreendimento, com a utilização da técnica da Linha de Balanço (Figura 57). No entanto, como já havia um cronograma de montagem negociado com o cliente, ao ser efetuado um processo de replanejamento da montagem, com elaboração da LOB, foram mantidas algumas datas principais já acordadas, tais como as datas de início e término da obra, datas de entrega de materiais, pois, diante do contexto do sistema de produção da empresa X nesse momento, não havia possibilidade de puxar a produção da fábrica de acordo com a demanda da obra.

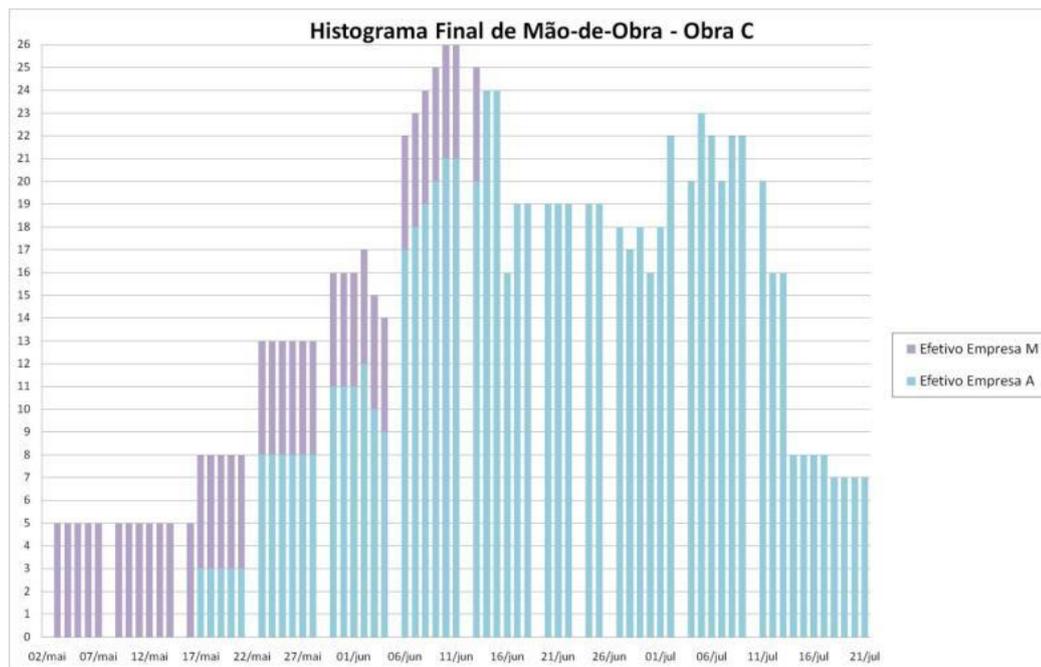


Figura 56: Histograma de mão de obra – obra C

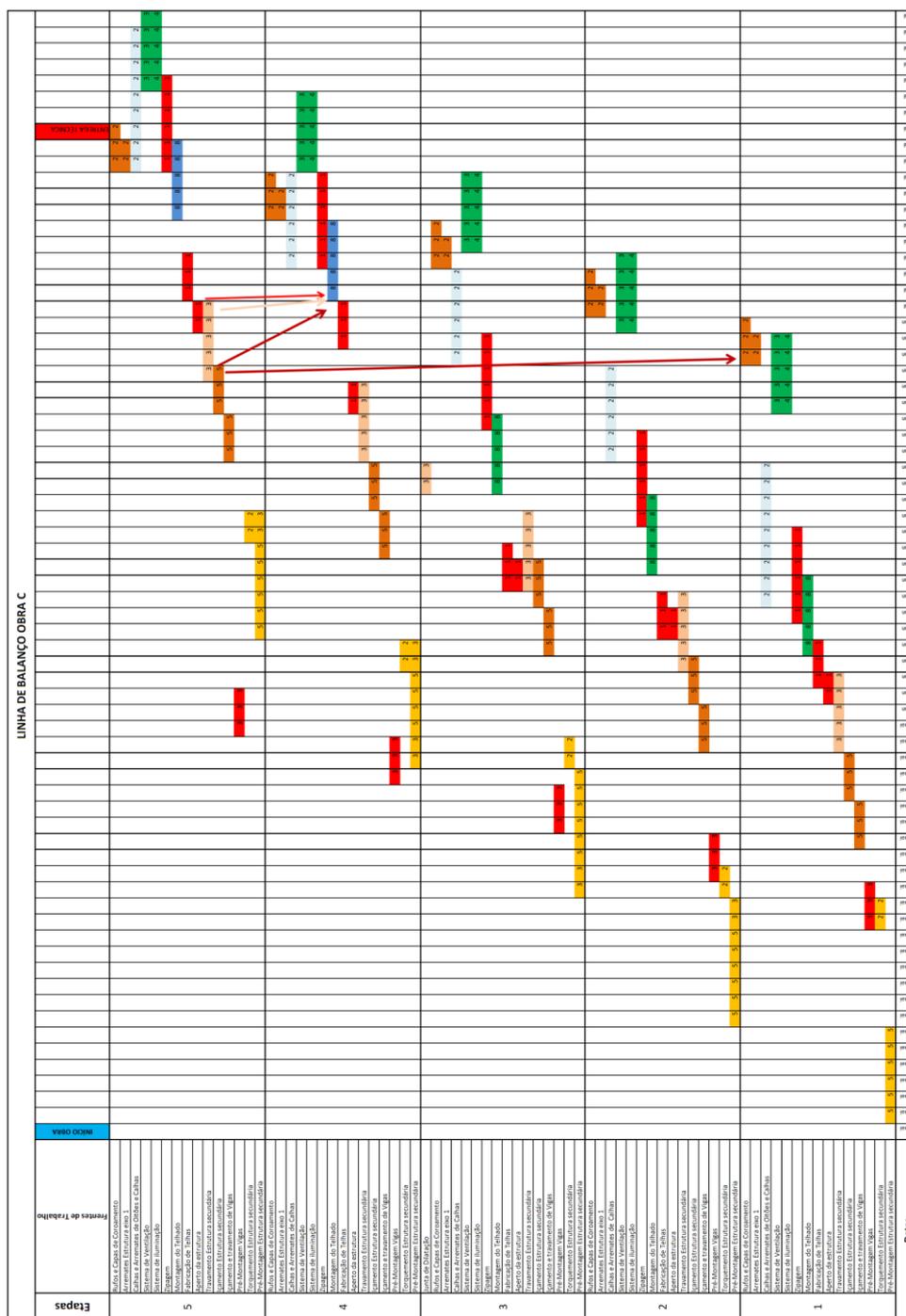


Figura 57: Segunda Linha de Balanço – obra C

A última reunião ocorreu em 20/05, com duração de uma hora. Inicialmente, a pesquisadora percorreu o canteiro de obras em companhia do engenheiro de montagem, a fim de identificar uma área disponível para estoque de materiais. As áreas foram definidas de maneira que os materiais de cada subetapa fossem estocados próximos ao local de utilização, objetivando diminuir o tempo gasto com a atividade de transporte e o tempo gasto pelos operários na procura de peças. Posteriormente, com as áreas de estocagem já pré-definidas, o

encarregado foi convidado a participar da reunião e a opinar sobre a posição dos estoques. Com os pontos de estoque acordados, elaborou-se o projeto de *layout* do canteiro (Figura 58), cuja cópia foi disponibilizada para o encarregado e também outra cópia foi fixada no mural do escritório da obra.

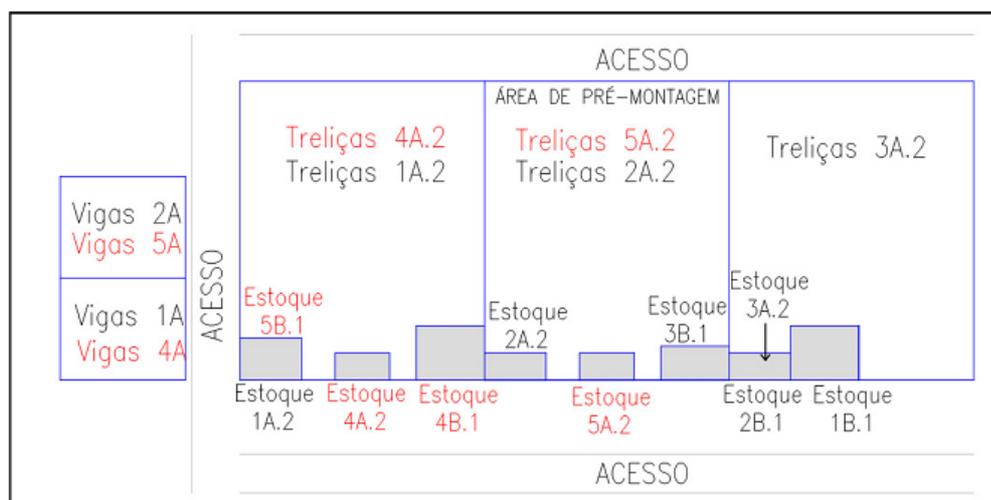


Figura 58: *Layout* do canteiro – obra C

Portanto, com a elaboração do PSP, primeiramente definiu-se a sequência de execução das atividades, fez-se um pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção e um estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base, a qual neste estudo foi representada por uma etapa do empreendimento. Posteriormente, foi definida a estratégia de execução do empreendimento, feito o dimensionamento da capacidade dos recursos de produção e também discutido o estudo dos fluxos de trabalho do empreendimento, com a utilização da técnica da Linha de Balanço, que foi adotada como plano de longo prazo.

6.1.2 Implementação do Sistema *Last Planner*

Uma vez definido o plano de longo prazo, iniciou-se o processo de implementação do PCP em níveis de médio e curto prazos.

6.1.2.1 Planejamento e Controle em Nível de Médio Prazo

Durante o desenvolvimento do estudo, foram realizadas oito reuniões para o planejamento e controle de produção em nível de médio prazo, durante um período de oito semanas, das quais normalmente participavam a pesquisadora e o engenheiro de montagem e,

eventualmente, o coordenador de contratos. Não foi possível envolver nessas reuniões os encarregados das empresas subcontratadas, tendo em vista a grande duração das reuniões.

No dia 20/05, realizou-se a primeira reunião, na qual foi desenvolvido o primeiro plano de médio prazo, que tinha um horizonte de planejamento de três semanas, com ciclo de controle semanal. A opção por um ciclo de controle semanal foi realizada na tentativa de eliminar o grande número de restrições existentes em todo o processo produtivo, tendo em vista o curto prazo de execução da obra, que era de apenas 15 semanas. No caso, atrasos na remoção de restrições poderiam ter impacto direto no prazo de entrega do empreendimento.

A segunda reunião foi realizada em 26/05, com duração de aproximadamente três horas. Nesta, discutiu-se a importância de estabelecer um *buffer* de atividades com todas as restrições já removidas e, apenas depois, iniciar a execução dos pacotes de trabalho. Mas, para tanto, o cronograma da obra sofreria um atraso de uma semana, período que seria utilizado para gerar o *buffer*. No entanto, não foi permitido que fosse realizada tal tentativa, pois o cliente não aceitaria este atraso e o não cumprimento do prazo contratado poderia resultar em multas para a empresa X.

Dessa maneira, a equipe optou por apenas monitorar as diferentes restrições, a fim de verificar qual seria o intervalo de tempo mínimo que permitiria removê-las sem prejudicar o início da execução dos respectivos pacotes de trabalho. Assim, decidiu-se que no plano de curto prazo seriam incluídos pacotes de trabalho ainda contendo restrições, mas seria feito um esforço para removê-las antes do início da execução dos mesmos.

Na reunião do dia 02/06 concluiu-se que, de fato, o *buffer* de tempo entre a remoção de alguns tipos de restrição e o início da execução do pacote de trabalho poderia ser reduzido para até um dia, para alguns tipos de restrições específicas, tais como liberação de área para pré-montagens e içamentos, programação de equipamentos de montagem. No entanto, esse *buffer* de tempo ainda deveria continuar a ser de no mínimo cinco dias para restrições relacionadas à entrega de materiais das subetapas em obra.

Ainda com relação às reuniões, apenas a partir do dia 21/06 (sexta reunião) conseguiu-se estabelecer uma rotina, e todas as reuniões de médio prazo passaram a ser realizadas no início da tarde das terças-feiras. Assim, de maneira geral nas reuniões de médio prazo era feita a reprogramação das atividades, por meio da vinculação do planejamento de longo prazo com o de curto prazo. Além disso, identificavam-se as restrições existentes e realizavam-se ações para eliminá-las.

6.1.2.2 Planejamento e Controle em Nível de Curto Prazo

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas 15 reuniões para o desenvolvimento do processo de PCP em nível de curto prazo, que ocorreram ao longo de 11 semanas. Em algumas semanas foram realizadas duas reuniões, com a presença da pesquisadora, do engenheiro de montagem, do encarregado da empresa A e do encarregado da empresa M, subcontratada pela empresa A para realizar o serviço de pré-montagem das estruturas secundárias.

No dia 19/05, ocorreu a primeira reunião, liderada pela pesquisadora, quando foram discutidas as tarefas que deveriam ser executadas na semana seguinte, as quais já estavam com as restrições identificadas no plano de médio prazo, enquanto outras ainda não haviam sido removidas. Ao fim da reunião, decidiu-se que, devido às várias incertezas do processo e à inexperiência da equipe em utilizar o sistema, seriam realizadas duas reuniões semanais para o planejamento de curto prazo, nas terças e sextas-feiras.

No dia 24/05, ocorreu a segunda reunião com duração total de aproximadamente uma hora e meia, da qual participaram o coordenador de contratos, a pesquisadora, os encarregados das empresas A e M e o engenheiro de montagem, que coordenou a reunião. Foram ainda necessárias intervenções da pesquisadora, a fim de evitar que alguns pacotes de trabalho fossem esquecidos ou fossem mal dimensionados. No primeiro momento da reunião, a pesquisadora explicou novamente todo o processo de PCP, pois o encarregado da empresa M não havia participado da reunião anterior. Em seguida, analisaram-se as causas da não execução dos pacotes de trabalho do período anterior e calculou-se o primeiro resultado do indicador PPC, que foi de 38%.

O baixo resultado do PPC ocorreu principalmente devido à inclusão de alguns pacotes de trabalho que ainda estavam com restrições. Como o primeiro plano de médio prazo fora executado apenas com um dia de antecedência ao primeiro plano de curto prazo, não houve tempo hábil para a remoção de todas as restrições.

No segundo momento da reunião, foram planejados os pacotes de trabalho para os três dias seguintes, período esse denominado semana 2A (25 a 27/05). A planilha de curto prazo utilizada neste estudo é apresentada na Figura 59, na qual foram registrados os pacotes de trabalho, o tamanho da equipe necessária para executar cada pacote, a empresa e o encarregado responsável, os dias planejados para a execução das atividades. Também existia uma coluna para registro do status de execução da tarefa em porcentagem e uma coluna destinada ao registro das causas da não conclusão dos pacotes de trabalho. Ao longo da execução da obra, procedeu-se à verificação das datas reais de execução de cada pacote.

As causas específicas para a não conclusão dos pacotes de trabalho foram previamente categorizadas, indicando-se na planilha a respectiva categoria. Essa categorização foi feita pela pesquisadora com base nas informações sobre as causas das interrupções na montagem, obtidas por meio de entrevistas abertas realizadas nos estudos empíricos A e B, com posterior validação pelo engenheiro de montagem e coordenador de contratos da obra C.

As categorias pré-definidas foram: absenteísmo; atraso de tarefas antecedentes; condições meteorológicas; falta de equipamento; falta de mão de obra; falta de material; modificação dos planos; não liberação do cliente; planejamento; problema não previsto na execução; projeto; retrabalho; solicitação de modificações de serviço; superestimação da produtividade e problemas de fabricação.

		Planejamento de Curto Prazo											
		Obra: C				Encarregado:					Pesquisadora:		
		Engenheiro Civil:				Coordenador de contratos:					Período:		
Item	PACOTES DE TRABALHO	Equipe		RESP.		Dias da semana					% exec	CAUSAS	
		Prof:	Ajud:	Emp	Enc	20/5	21/5		23/5	24/5			
						S	S	D	S	T			
1	Pré-Montagem Vigas 219 a 211 - etapa 2	1	4	A		P	5					50%	Não liberação do cliente
						E	5						
2	Pré-Montagem Vigas 229 a 220 - etapa 2	1	4	A		P				5		33%	Não liberação do cliente
						E					3		
3	Pré-Montagem Estrutura Secundária etapa 3-12 pç		3	A		P	3	3				100%	
						E	3	3					
4	Içamento Vigas Eixo A - etapa 1	1	4	A		P		5				100%	
						E		5					
5	Içamento Vigas Eixo A2 e B - etapa 1	1	4	A		P				5	5	60%	Não liberação do cliente
						E					8		
6	Pré-Montagem Estrutura Secundária etapa 02A2 - 6pçs		3	M		P	3					100%	
						E	3						
7	Pré-Montagem Estrutura Secundária etapa 03A2 - 18 pçs		3	M		P		3		3	3	30%	Superestimação da produtividade
						E		3		3	3		
8	Torqueamento Estrutura Secundária etapa 02 - 36 pças		2	M		P	2	2			2	50%	Falta de mão de obra
						E					2		
Item	TAREFAS SUPLENTE											PPC (%):	
						P							
						E							

Figura 59: Primeiro modelo de planilha de curto prazo

A terceira reunião de planejamento de curto prazo, relativa ao período denominado 2B, ocorreu na sexta-feira dia 27/05. O tempo de duração da reunião foi bem menor, cerca de 20 minutos, pois o plano de curto prazo havia sido previamente elaborado pela pesquisadora em conjunto com o engenheiro de montagem. Embora essa reunião tenha sido realizada de forma mais rápida, os pacotes continuaram a ser negociados com os encarregados, e, se eles identificassem que os pacotes não estavam adequados, os mesmos os pacotes eram removidos, corrigidos ou trocados.

A partir da quarta reunião, passou-se a utilizar o campo “Observações” da planilha de curto prazo, como registro de atividades executadas, mas não planejadas, como ilustra a Figura 60. Esta mudança visou facilitar o controle de avanço físico da obra.

Item	Observações
	lçamento e Travamento de Viga Etapa 4 - D2- 1/2A, realizado no dia 03/06/2011
	lçamento Estrutura Secundária Etapa 4 - D/D2 a 1/2, realizado no dia 03/06/2011

Figura 60: Registro de atividades executadas, mas não planejadas – planilha de curto prazo

A quinta reunião, relativa ao período 3B, foi a primeira a ser realizado no horário pré-definido, às 17 horas. Ao final da reunião elaborou-se o plano de curto prazo para o período seguinte, utilizando-se o plano previamente montado pela pesquisadora em conjunto com o engenheiro, o qual serviu de base para discussões sobre o planejamento da obra. Os encarregados mostraram-se interessados em participar e expor suas opiniões.

Na nona reunião, relativa ao período 5B, a equipe demonstrou estar mais segura com o desenvolvimento do novo sistema de PCP. Assim, decidiu-se que as reuniões seguintes voltariam a serem realizadas apenas uma vez por semana, o que ocorreu até o término da obra.

6.1.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico C

6.1.3.1 Redução das atividades que não agregam valor

Com relação ao *layout* do canteiro, observou-se que, mesmo não sendo possível separar todos os produtos por subetapa, conforme o planejado, esse contribuiu para a redução das atividades que não agregam valor, tais como transporte e inspeção, uma vez que o material foi estocado de maneira mais organizada e posicionado próximo ao seu local de montagem, como ilustra a Figura 61.



Figura 61: Pontos de estoque de materiais

Além disso, ao observar a chegada dos carregamentos de materiais em obra, notou-se que as equipes que realizavam o serviço de descarregamento preocupavam-se em confirmar com o encarregado ou com o engenheiro de montagem o local onde o material deveria ser posicionado.

Ainda, o encarregado da empresa A citou, durante uma entrevista aberta, que o *layout* do canteiro trouxe benefícios para a execução do seu trabalho, pois, para realizar cada serviço, ele e sua equipe buscavam os materiais nos estoques sabendo onde os mesmos estavam armazenados. Segundo o encarregado, a organização também ajudou a diagnosticar com antecedência as subetapas que haviam sido entregues incompletas.

No entanto, no decorrer do estudo observou-se que algumas vezes chegavam materiais de diferentes subetapas em uma mesma carga, e quando isso acontecia geralmente as equipes descarregavam todo o material em um único ponto, ao passo que o *layout* previa posições diferentes para o material de cada subetapa. Segundo o engenheiro de montagem e o encarregado da empresa A, como a atividade de descarregamento utilizava um caminhão com guindaste (tipo “munck”) para movimentar os materiais, quando as cargas eram mistas, as equipes não queriam posicionar o equipamento em diferentes lugares para efetuar o descarregamento, visto que necessitavam utilizar o equipamento para a montagem das estruturas em obra.

6.1.3.2 Identificação e Remoção das Restrições

Para avaliar a eficácia do processo de remoção de restrições, as quais foram identificadas durante as reuniões de PCP em nível de médio prazo, foi utilizado o indicador IRRs1 – Índice de Remoção de Restrições da primeira semana planejada proposto por Codinhoto (2003), cujo cálculo é apresentado na equação (2).

$$\text{IRRs1 (\%)} = \text{RR}_{s1} / \text{RI}_{s1} \quad (2)$$

Onde:

IRR (%) – Índice de remoção de restrições da primeira semana planejada;

RR_{s1} - Quantidade de restrições removidas na 1ª semana do período planejado; e

RI_{s1} – Quantidade total de restrições identificadas na 1ª semana do período planejado.

A evolução do IRRs1 ao longo desse estudo é apresentada na Figura 62.

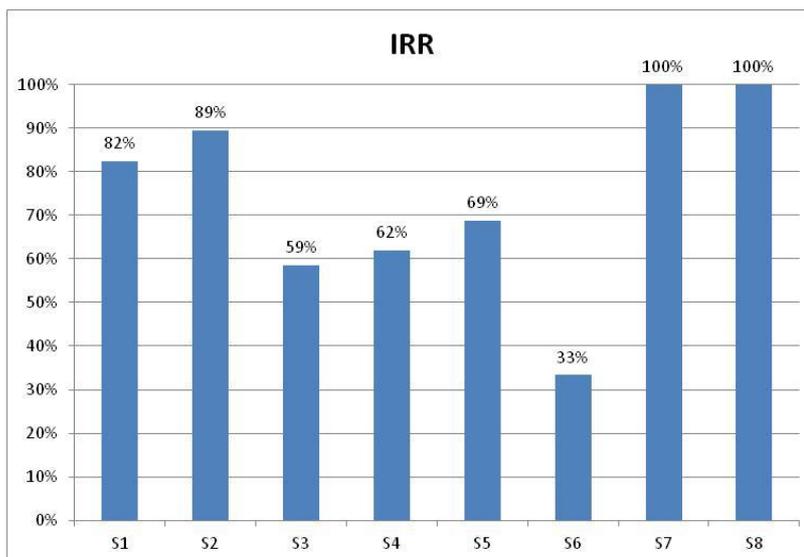


Figura 62: IRRs1 - obra C

A média do IRRs1 foi de 74%, indicando que a maior parte das restrições identificadas eram solucionadas antes do início da execução dos pacotes de trabalho. Porém, no período entre as semanas 3 e 6, essa média caiu para 55,75%, indicado que muitas restrições identificadas não foram removidas.

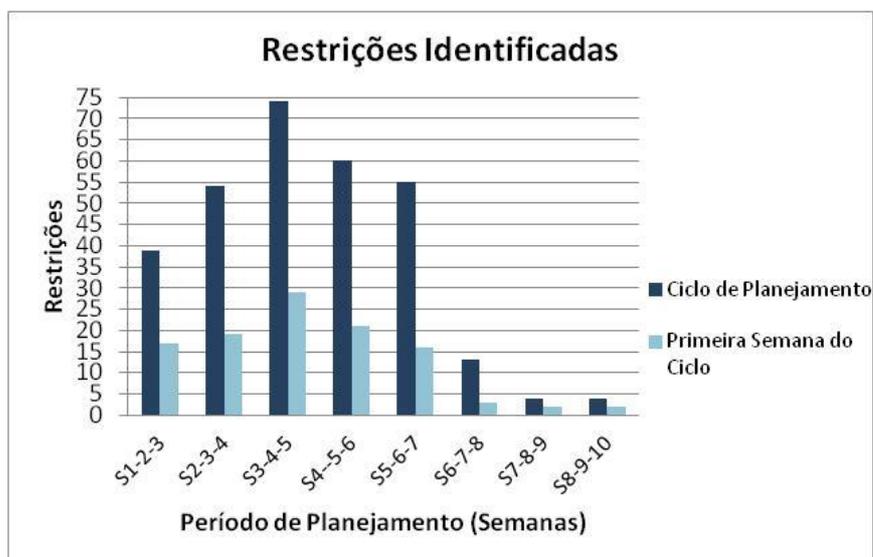


Figura 63: Restrições Identificadas por período e na primeira semana do período

Ao analisar a Figura 63 observa-se que nas cinco primeiras reuniões de PCP, em nível de médio prazo, eram identificadas em média 56 restrições por reunião, das quais, em média, 20

restrições eram relativas à primeira semana do período planejado. A partir da sexta reunião, a quantidade de restrições identificadas passou a ser muito inferior. Em média eram identificadas apenas sete restrições em cada reunião, das quais em média duas eram da primeira semana do período planejado. Como a pesquisadora participou dessas reuniões foi possível observar que nesse período havia uma quantidade menor de restrições no processo de montagem da obra, pois a maior parte dos materiais já estava estocada em obra, as equipes de montagem estavam completas, o que significava uma quantidade menor de restrições a serem removidas.

Ao analisar as Figura 62 e Figura 63 de maneira conjunta, observa-se que no período entre a terceira e a quinta semanas, quando foi identificada a maior quantidade de restrições, o IRRs¹ teve os menores valores. Foi observado em obra que muitas dessas restrições eram relacionadas à necessidade de entrega de materiais e às interferências da construtora, a qual precisava liberar áreas para que a empresa X pudesse executar suas atividades. Além disso, observou-se que apenas o comprometimento da equipe não era suficiente para remover as restrições relacionadas à entrega de materiais, pois, para que essa remoção ocorresse, algumas ações deveriam ser realizadas em processos à montante da montagem, gerenciados por outros setores da empresa, como os setores de engenharia, PCP de fábrica e manufatura.

6.1.3.3 PPC e Indicador de Causas do Não Cumprimento dos Pacotes de Trabalho

Para avaliar a eficácia do processo de planejamento em nível de curto prazo foi utilizado o indicador PPC, enquanto para identificar a causa raiz do não cumprimento dos pacotes empregou-se o indicador de causas acumuladas para a não conclusão dos pacotes de trabalho. Na Figura 64 está apresentado o gráfico do PPC obtido ao longo do estudo.

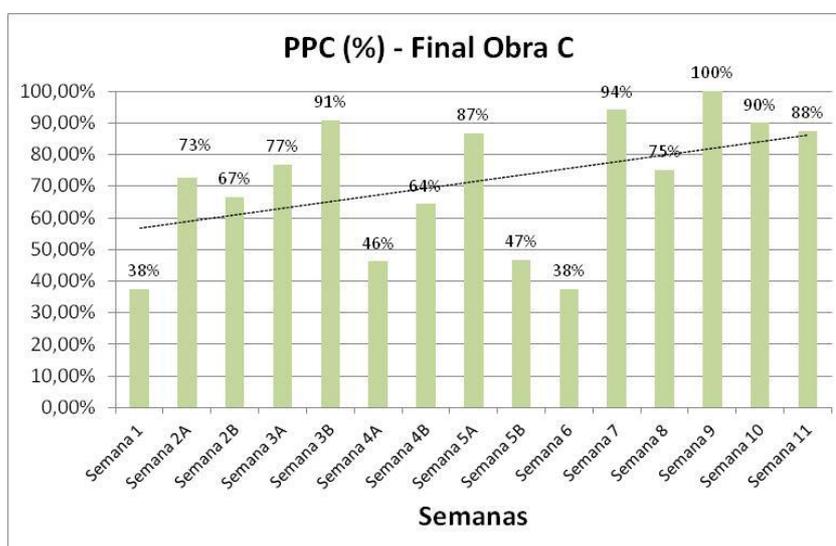


Figura 64: PPC final – obra C

O PPC médio do empreendimento foi de 68,9%, sendo observada uma alta variabilidade desse indicador nas primeiras 6 semanas, existindo após esse período uma tendência de crescimento do PPC (linha pontilhada na Figura 64) e redução da variabilidade do mesmo. Com relação às causas da não conclusão dos pacotes de trabalho apresentadas na Figura 65, constatou-se que a causa mais frequente foi a “não liberação do cliente”, ou seja, o início da execução dos pacotes de trabalho era postergado, pois o cliente não havia concluído a execução de alguma atividade antecedente necessária à liberação de áreas para a montagem das subetapas.



Figura 65: Causas da não conclusão dos pacotes de trabalho – obra C

6.1.3.4 Aderência ao Lote de Entrega

Conforme citado, todo o material da estrutura metálica era fornecido de acordo com um cronograma pré-definido pelo setor de planejamento. Porém, as datas reais de fabricação muitas vezes não seguiam rigorosamente aquelas planejadas, pois semanalmente as datas de entrega poderiam ser alteradas, visto que ocorriam reuniões gerenciais envolvendo gestores dos diferentes setores da empresa. Na Figura 66 é apresentado o gráfico de aderência ao lote de entrega da subetapa de estrutura secundária.

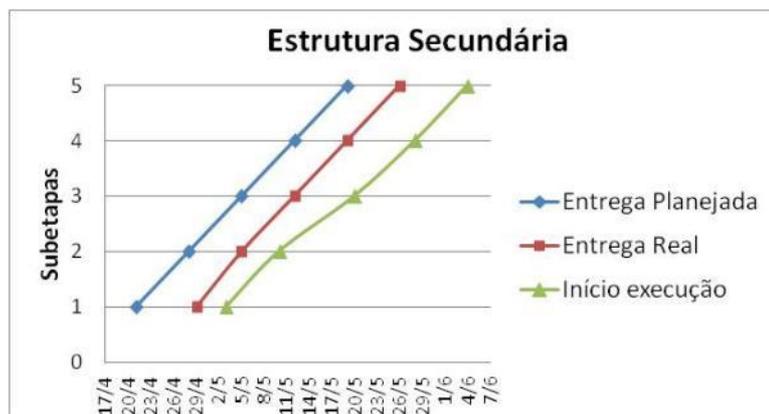


Figura 66: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa estrutura secundária

Nas Figura 67 e Figura 68 também são apresentados os gráficos de aderência ao lote de entrega das subetapas de estrutura principal e telhas, respectivamente.



Figura 67: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa estrutura principal

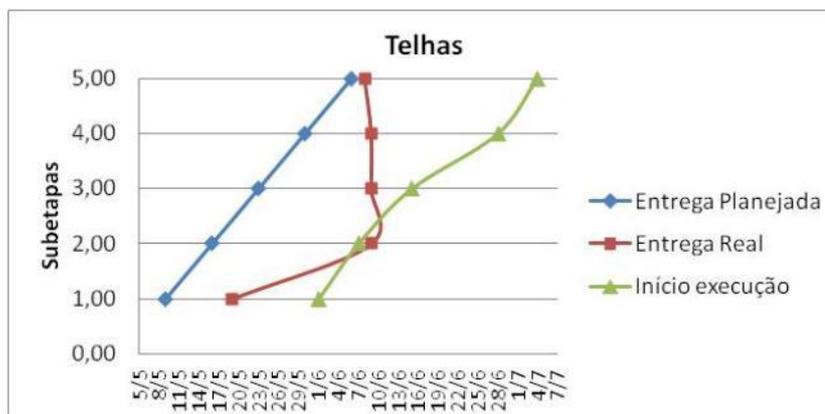


Figura 68: Indicador de aderência ao lote de fabricação – Subetapa telhas

Como pode ser observado nas Figura 66, Figura 67 e Figura 68, os materiais dessa obra não foram entregues na data inicialmente planejada. No entanto, como o cliente havia postergado o início da execução das atividades, mesmo com o atraso na entrega das subetapas em relação às datas planejadas, essa variação não causou atrasos no início da execução das atividades de montagem em obra. Apenas o atraso na entrega da subetapa de telhas da etapa 2 (Figura 68) poderia ter gerado atraso no início da execução. Porém, como o material da etapa 3 já havia chegado e os materiais dessas subetapas eram iguais, o material da subetapa de telhas da etapa 3 foi utilizado para executar a montagem do telhado da etapa 2.

Além disso, foram identificadas outras falhas no processo de suprimentos da obra, como, por exemplo: (a) materiais enviados em desacordo com as especificações e (b) materiais entregues em quantidade inferior ao projetado. Tais falhas muitas vezes não chegavam a reduzir os valores do indicador PPC, pois, para minimizar o impacto desses problemas sobre o andamento dos serviços de montagem, quando possível, as equipes faziam algumas improvisações, retrabalhando algumas peças e, sobretudo, exigiam do engenheiro de montagem ações reativas, como, por exemplo, compra de materiais em fornecedores locais ou empréstimo de material de outras obras da empresa.

6.1.3.5 Avanço Físico

Nessa obra, foi analisada a aderência em termos de avanço físico dos processos de pré-montagem da estrutura secundária, montagem das vigas principais e montagem do telhado. Com relação à atividade de pré-montagem das estruturas secundárias, primeira atividade executada em cada uma das cinco etapas, houve uma grande aderência em termos de avanço físico, como ilustra a Figura 69.

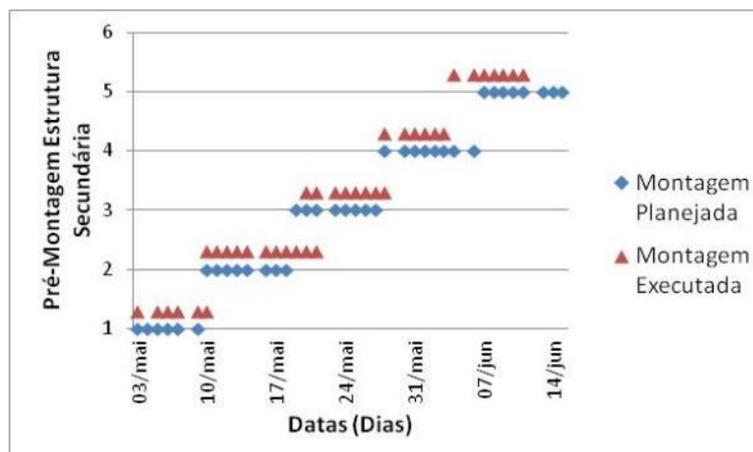


Figura 69 Avanço físico - pré-montagem das estruturas secundárias

Com base na análise da Figura 69, pode-se constatar que durante a pré-montagem das estruturas secundárias das etapas 1 e 2 ocorreu um atraso final de três dias em relação ao prazo planejado, o qual foi recuperado durante a pré-montagem das etapas seguintes e o serviço foi concluído na quinta etapa com quatro dias de antecedência em relação à data planejada. Com relação à atividade de montagem das vigas principais e de montagem da cobertura, a aderência ao avanço físico foi menor, como ilustram as Figura 70 e Figura 71.

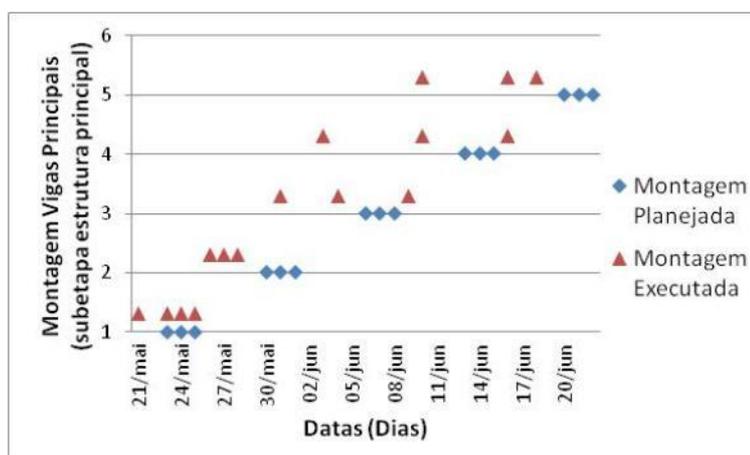


Figura 70: Avanço físico - montagem das vigas principais

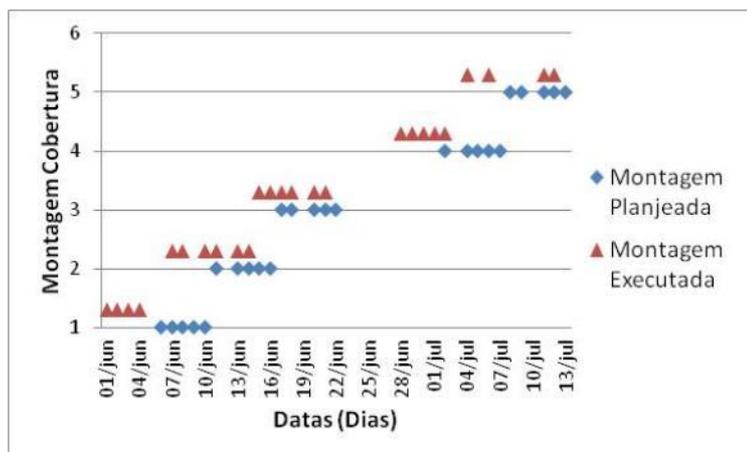


Figura 71: Avanço físico – montagem da cobertura

Com análise do gráfico das Figura 70 e Figura 71, nota-se que a aderência em termos de avanço físico dessas atividades foi menor, além de terem sido executadas, em cada etapa, com muitas interrupções. Esses resultados demonstram que havia falhas no dimensionamento dos ritmos das equipes e que as restrições não removidas impediam que as atividades fossem executadas com fluxo ininterrupto. Contudo, ao final, a obra foi entregue dentro dos prazos contratuais estabelecidos com o cliente, cujos representantes, por meio de entrevistas abertas, manifestaram satisfação com o avanço da obra e destacaram que o desempenho da empresa X nesse empreendimento foi superior em relação a obras anteriores empreendidas pela mesma.

6.2 ESTUDO EMPÍRICO D

A partir do desenvolvimento do estudo empírico C, fez-se uma reflexão sobre os resultados obtidos e as dificuldades enfrentadas no processo de implementação do PCP. Assim, a implementação do processo de PCP na obra D teve os mesmos objetivos do estudo anterior, mas, além disso, estabeleceu-se um roteiro de implementação que visava superar as dificuldades enfrentadas no estudo empírico C, apresentado a seguir:

- Apresentar os conceitos e ferramentas a serem utilizadas no trabalho para todos os futuros envolvidos com o PCP;
- Envolver os encarregados das equipes de montagem desde a primeira reunião para o desenvolvimento do PSP;

- Elaborar o PSP, com definição da estratégia de execução do empreendimento, dimensionamento da capacidade dos recursos de produção e estudos dos fluxos de trabalho, utilizando a técnica da Linha de Balanço;
- Envolver o coordenador de contratos nas reuniões de planejamento de médio prazo, na tentativa de aumentar a eficiência e a eficácia desse processo, visto que o mesmo interage com os outros setores da empresa;
- Registrar de maneira sistemática, no plano de curto prazo, os problemas que surgem durante a realização dos serviços de montagem;
- Aumentar a transparência do processo de planejamento e controle em nível de curto prazo, considerando o seu papel de orientar diretamente a execução da obra.

6.2.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra D

O Projeto do Sistema de Produção dessa obra foi explicitado e refinado a partir da realização de três reuniões durante um período de oito dias, as quais envolveram o engenheiro de montagem, o coordenador de contratos, o encarregado de uma das equipes de montagem da empresa R, subcontratada para realizar a montagem, e, eventualmente, um dos gestores da empresa R. Conforme apresentado, o cronograma inicial da obra, desenvolvido pelo setor de planejamento da empresa, marcava o início das primeiras atividades de montagem para o dia 21/06/2011. Nessa data, todos os pilares de concreto pré-moldados já haviam sido montados, ou seja, havia frentes de trabalho para a montagem do sistema construtivo metálico, em todas as oito etapas da obra.

No dia 20/06/2011, realizou-se a primeira reunião para elaboração do PSP, com duração aproximada de 60 minutos, da qual participaram o engenheiro de montagem, o coordenador de contratos e a pesquisadora. Nessa reunião, a pesquisadora ministrou uma palestra, explicando os conceitos da construção enxuta e as ferramentas de PCP a serem utilizadas no decorrer da pesquisa. No dia seguinte 21/06/2011, data que marcava o início da execução da obra, ocorreu a segunda reunião, da qual, além da equipe participante da reunião anterior, também teve a presença de um dos sócios da empresa R e de um de seus encarregados. Na ocasião definiu-se a sequência de execução da unidade base, a qual, neste estudo, era uma etapa do empreendimento, e também se discutiu a capacidade dos recursos de produção que seriam empregados para a execução de cada etapa e as datas acordadas com o cliente para conclusão da obra e as datas planejadas para a entrega de materiais.

Com esses dados elaborou-se o diagrama de precedência das atividades (Figura 72). Porém, faltavam algumas informações para que o planejamento ficasse completo, pois o engenheiro de montagem ainda não havia recebido os projetos de todas as etapas da obra para o levantamento dos quantitativos e dimensionamento das equipes e equipamentos necessários. Assim, marcou-se uma nova reunião na semana seguinte.

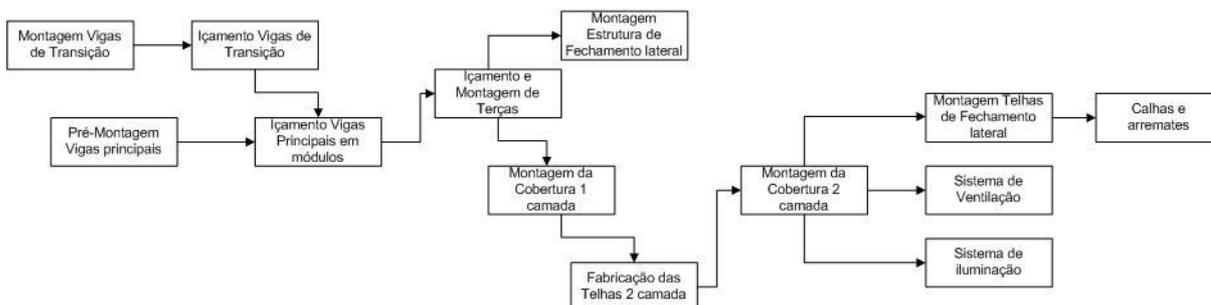


Figura 72: Diagrama de precedência das atividades – obra D

No dia 28/06, a obra já estava na segunda semana de execução e aconteceu a terceira reunião de PSP, na qual já havia informações mais completas sobre o empreendimento e seus projetos. Dessa maneira, fez-se o pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção e elaborou-se a planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção da unidade base, como ilustra a Figura 73.

Planilha Seqüenciamento								
Obra: D							Data: 29/06/2011	
Participantes da elaboração: Engenheiro da obra, Coordenador de Contratos, Encarregado empresa R, Gestor empresa R, Pesquisadora								
Atividade	Equipe/ Líder	Atividades de acordo com a seqüência de execução	Recursos		Lote de Produção	Tempo de Ciclo	Lote de Transferência	Atividades Preced.
			Mão-de-obra	Equipamentos				
1	R	Pré-Montagem Vigas de Transição	5 ajudantes	1 munck	1 etapa	1 dia	1/2 etapa	-
2	R	Pré-Montagem Vigas e 5 Módulos de estrutura	1 operador Munck 8 ajudantes	1 munck	1/2 etapa	5 dias	1/2 etapa	-
3	R	Içamento 5 Módulos e Vigas de transição	2 operadores guindaste 4 operadores plataforma 8 ajudantes	2 guindastes 2 plataformas	1/2 etapa	2 dias	1/2 etapa	1 e 2
4	R	Içamento e Montagem Terças	5 ajudantes	1 guindaste 1 plataforma	1/2 etapa	3 dias	1/2 etapa	ativ. 3 X 2 etapas
5	R	Montagem Telhado 1ª Telha	4 ajudantes		1 etapa	5 dias	1 etapa	4
6	R	Montagem Rampas Andaimes	3 ajudantes		3 etapas	1 dia	3 etapas	-
7	R/B	Fabricação de Telhas	12 ajudantes		3 etapas	6 dias	3 etapas	ativ. 5 X 3 etapas
8	R	Desmontagem Rampas Andaime	3 ajudantes		3 etapas	1 dia	3 etapas	7
9	R	Montagem 2ª Telha + Lã de Vidro	7 ajudantes		1 etapa	4 dias	1/2 etapa	5 e 7
10	R	Sistema de Iluminação	6 ajudantes		1 etapa	4 dias	1 etapa	9
11	R	Sistema de Ventilação	4 ajudantes		1 etapa	5 dias	1 etapa	9
12	R	Solda Suporte	1 soldador	1 plataforma	1 etapa/10 suportes	4 dias	1 etapa	-
13	R	Estrutura de Fechamento Lateral/Pilar - Oitão	1 operador munck 5 ajudantes	1 munck 1 plataforma	oitão	10 dias	oitão	12
14	R	Estrutura de Fechamento Lateral/ Pilar	1 operador munck 5 ajudantes	1 munck 1 plataforma	1 etapa	3 dias	1 etapa	12
15	R	Telhas de Fechamento lateral	5 ajudantes	1 plataforma	40m/dia	3 dias		13 e 14
16	R	Calhas	2 ajudantes		13m/dia	3 dias	1 etapa	ativ. 9, 14 X 2 etapas
17	R	Arremates	3 ajudantes		1/2 etapa	2 dias	1/2 etapa	16

Figura 73: Planilha de pré-dimensionamento dos recursos de produção – obra D

Além disso, definiu-se a estratégia de execução do empreendimento, a partir de estudos dos fluxos de trabalho do empreendimento, com a utilização da técnica da Linha de Balanço. Tais estudos levaram em consideração algumas limitações provenientes do sistema produtivo da empresa, como as datas de entregas de materiais de cada subetapa e de início e fim da execução da obra acordadas em contrato com o cliente. Foi gerado um plano de longo prazo final, com o uso da Linha de Balanço, que foi fixada no escritório da obra (Figura 74), a fim de aumentar a transparência do plano e permitir o controle diário.



Figura 74: Linha de balanço fixada no escritório - obra D

6.2.2 Implementação do Sistema *Last Planner*

A partir do plano de longo prazo, iniciou-se o processo de implementação do PCP em níveis de médio e curto prazos.

6.2.2.1 Planejamento e Controle em Nível de Médio Prazo

Assim como no estudo empírico C, definiu-se como horizonte de planejamento o período de três semanas, com ciclo de controle semanal. Nessa obra, foram realizadas cinco reuniões semanais, com duração média de uma hora e meia, envolvendo a pesquisadora, o engenheiro

de montagem e o coordenador de contratos. Também foram realizadas mais cinco reuniões das quais a pesquisadora não participou.

A primeira reunião ocorreu no dia 28/06, na segunda semana de execução da obra, e contou com a participação do engenheiro de montagem e da pesquisadora, com duração de aproximadamente duas horas. Inicialmente identificaram-se as restrições a serem removidas, relacionadas às atividades a serem executadas nas próximas três semanas de obra, com definição do prazo para remoção e dos responsáveis que efetuariam tais remoções.

Durante as primeiras reuniões foi difícil obter o pleno envolvimento da equipe, pois o engenheiro de montagem parecia não considerar que o novo sistema de PCP de fato fosse ajudar em seu trabalho, enquanto o coordenador não conseguia participar de todas as reuniões, pois tinha outras obras para gerenciar. A cada reunião de médio prazo, as restrições eram identificadas, porém dificilmente a equipe analisava a lista de restrições a ser removidas durante a semana, retomando a mesma pauta apenas durante a reunião da semana seguinte. Como consequência, a maioria das restrições não era removida na data programada, contribuindo para que houvesse muitas incertezas no planejamento de curto prazo. Além disso, muitas restrições, principalmente as relacionadas à entrega de materiais, não eram possíveis de remover apenas por meio de ações da equipe de gerência de obra, mesmo com o maior envolvimento do coordenador de contratos.

Assim, o planejamento no nível de médio prazo teve uma eficácia limitada nessa obra, limitando-se a um exercício de identificação das restrições sem que as mesmas de fato fossem removidas, assim como de replanejamento das datas de execução das atividades. Em função desses problemas, a equipe que participava da reunião ficou desmotivada. Até a nona semana de execução a obra estava com um atraso de 13,77% e ainda precisavam ser executados aproximadamente 56,91% das atividades em apenas 30 dias, que era o tempo restante para o término do prazo da obra (Figura 75).

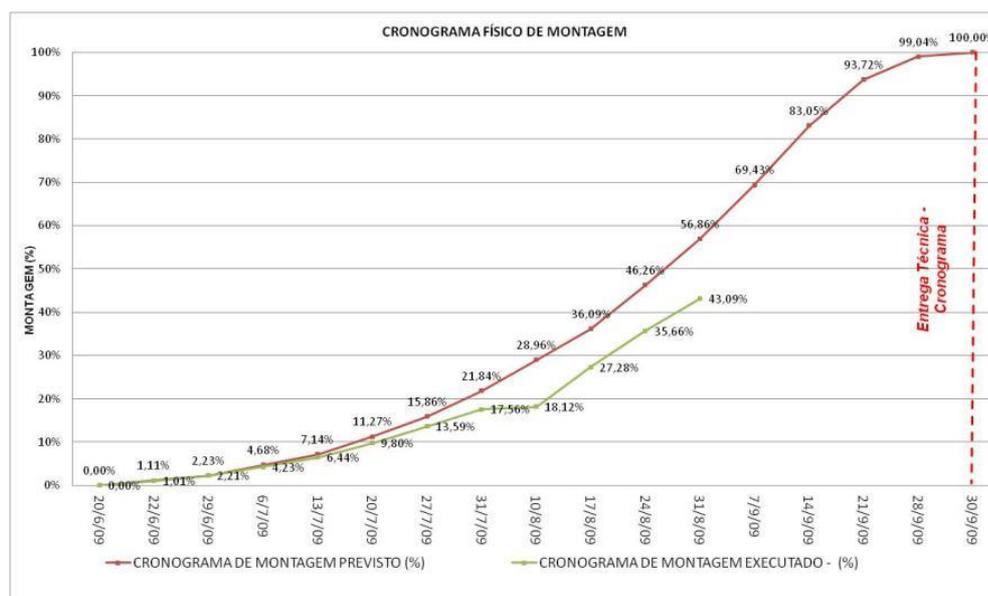


Figura 75: Avanço físico - obra D – até a 9ª semana de obra

Devido a esse atraso, na 10ª e última reunião de PCP em nível de médio prazo, foi feito um replanejamento das atividades que faltavam ser executadas e um plano de ação para a recuperação do cronograma, definindo o efetivo, equipamentos necessários, com a identificação das restrições das próximas três semanas.

6.2.2.2 Planejamento e Controle em Nível de Curto Prazo

Ao todo, durante o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas 27 reuniões de PCP de curto prazo, ao longo de 15 semanas. Em quase todas as semanas foram realizadas duas reuniões, com duração média de 30 minutos. Das 14 primeiras reuniões participaram a pesquisadora, o engenheiro de montagem e dois encarregados da empresa R, subcontratada para montagem da obra, e, quando possível, também o coordenador de contratos e o gestor da empresa R. As demais reuniões foram realizadas sem a presença da pesquisadora.

A primeira reunião foi realizada no dia 29/06, um dia após a primeira reunião de PCP em nível de médio prazo, com duração de uma hora e meia. Nessa reunião participaram a pesquisadora, o engenheiro de montagem, o gestor e dois encarregados da empresa R. A duração dessa reunião foi superior ao tempo médio das reuniões do estudo C, porque os participantes ainda não conheciam esta metodologia de planejamento e controle de obras, sendo necessário que a pesquisadora explicasse mais detalhadamente o que seria feito. Normalmente, durante as primeiras reuniões havia muitas interrupções, sendo difícil fazer com que todos seguissem as regras combinadas, tais como não atender os celulares, fixar um

único horário de reunião. Esse contexto contribuiu negativamente com a implementação do PCP, reduzindo muito a eficiência e a eficácia do mesmo.

Diante desse cenário, foram realizadas algumas ações visando à melhoria do processo, sendo uma delas a inclusão de um novo modelo mais simples da planilha, para a elaboração do plano de curto prazo. No entanto, as reuniões continuaram a ser conduzidas com a utilização modelo-padrão de planilha, mas o modelo mais simples era entregue para os encarregados das empresas subcontratadas após cada reunião, no qual estavam registradas os pacotes de trabalho a serem executados em cada dia, deixando-se um espaço em branco para que fosse anotado outras atividades executadas, além dos pacotes planejados (Figura 76).

Datas	Dia da Semana	Tarefas
28/07/2011	Quinta-feira	<ul style="list-style-type: none"> • Montagem Telhas painel Rib - Etapa 1 - Eixo I ao H +10.000 - Eixo 1 ao 3 +20.000 (cumeeira); • Estrutura de fechamento lateral eixo I/ oitão - Etapa 1 – alinhamento - não executando entre eixos 3 ao 3+20.000; • Alinhamento Estrutura de Cobertura - Etapa 1- Entre Eixos I/H- eixo 6 ao 3 +20.000 (cumeeira)

Figura 76: Novo modelo de planilha de curto prazo

Também o engenheiro foi solicitado a controlar diariamente a execução dos pacotes de trabalho, a fim de demonstrar às equipes o seu comprometimento com o processo e evidenciar a importância da execução dos pacotes planejados. Aumentou-se de igual modo a utilização de recursos visuais durante as reuniões de curto prazo, passando-se a utilizar projetos que mostravam todas as etapas da obra e ajudavam os encarregados a localizar os locais onde as atividades podiam ser executadas. Além disso, a partir da sexta semana de reunião, passou a ocorrer uma grande cobrança por parte da alta direção da empresa X, para que houvesse melhorias nos indicadores de PPC da obra. Assim, o engenheiro de montagem passou a liderar as reuniões e o coordenador de contratos, por sua vez, também passou a participar mais dessas reuniões.

Outra modificação foi que as reuniões passaram a ocorrer a cada três dias (nas terças e sextas-feiras), pois os encarregados apresentaram dificuldades em expor as atividades que poderiam ser executadas dentro do período de uma semana. Essas dificuldades

apresentadas pelos encarregados geralmente ocorriam, pois os mesmos não tinham o hábito de planejar as atividades a serem executadas de maneira formal em obra, assim precisavam se adaptar às novas necessidades. Tais ações contribuíram para que houvesse aumento do indicador PPC (Figura 77).

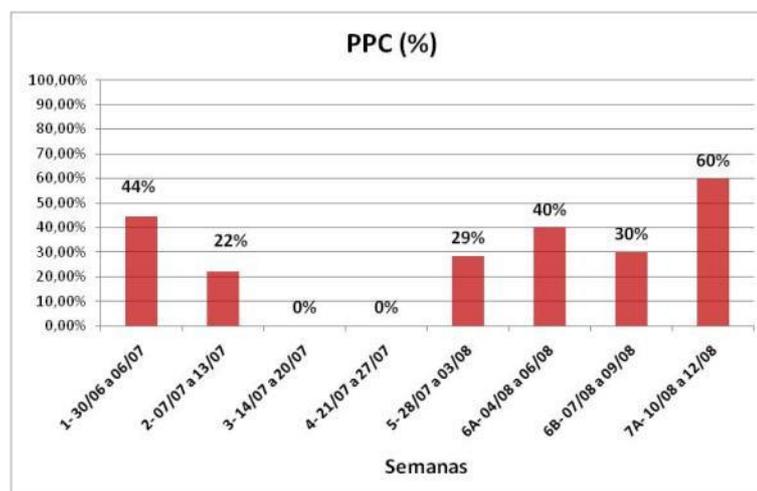


Figura 77: PPC - obra D – até a 7ª semana

6.2.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico D

6.2.3.1 Identificação e Remoção das Restrições

Assim como ocorreu no estudo empírico C, o controle da remoção das restrições era realizado no início de cada reunião. A média do IRRs1 deste estudo foi de 42%, indicando que a maior parte das restrições identificadas não era solucionada antes do início da execução dos pacotes de trabalho. A evolução do IRRs1 é apresentada na Figura 78.



Figura 78: IRRs1 - obra D

A Figura 79 apresenta a quantidade de restrições identificadas em cada ciclo de planejamento e na respectiva primeira semana do ciclo.

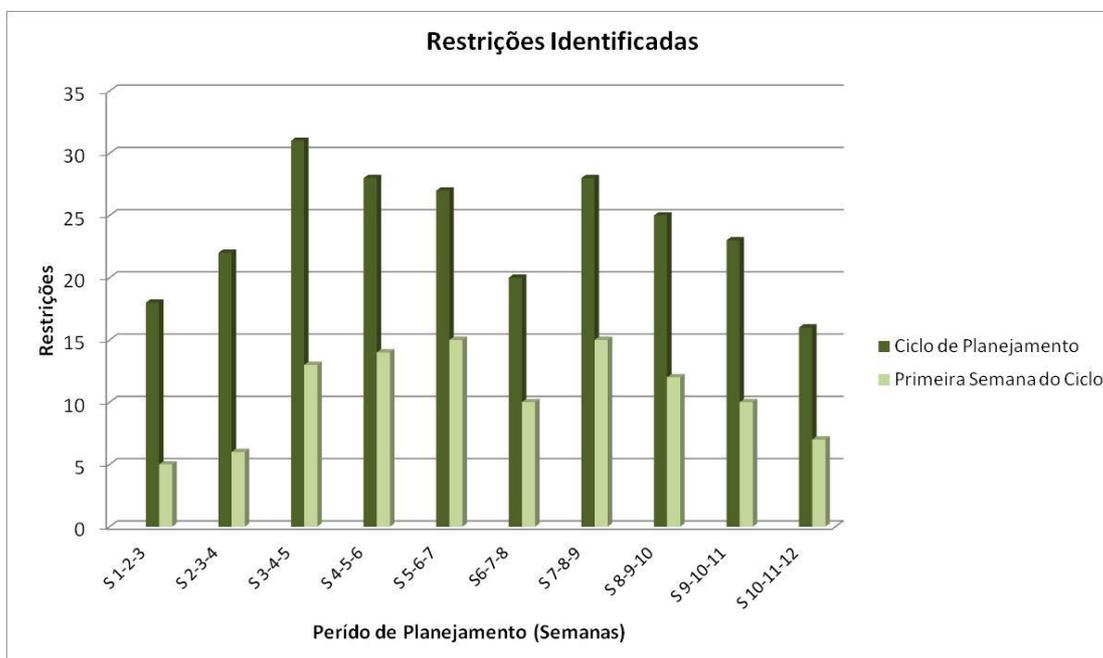


Figura 79: Restrições identificadas por período e na primeira semana do período

Ao analisar a Figura 79, observa-se que, nas primeiras três reuniões, ocorreu uma tendência de crescimento na quantidade de restrições identificadas em nível de médio prazo. Em média, identificavam-se cerca 23 restrições por reunião, das quais em média oito restrições eram

relativas à primeira semana do período planejado. No entanto, nesse mesmo período os índices de IRRs1 foram os menores do estudo, sendo, em média, removidas apenas 29,33% das restrições identificadas. Observou-se em obra que muitas restrições não eram removidas no prazo, porque apenas o comprometimento do engenheiro de montagem e do coordenador de contratos não era suficiente para eliminá-las. Assim como ocorreu no estudo C, a remoção de muitas restrições dependia de ações a serem realizadas nos processos à montante da montagem, cuja responsabilidade era de outros setores da empresa, como o de engenharia, PCP de fábrica e manufatura. De forma geral, pode-se dizer que o mecanismo de proteção da produção do planejamento de médio prazo não foi eficaz com relação à identificação e à remoção de restrições.

6.2.3.2 PPC e Indicador de Causas do Não Cumprimento dos Pacotes de Trabalho

Para avaliar a eficácia do processo de planejamento em nível de curto prazo neste estudo, também foi utilizado o indicador PPC, assim como para identificar a causa-raiz para o não cumprimento dos pacotes de trabalho foi empregado o indicador de causas acumuladas para a não conclusão dos pacotes de trabalho. Na Figura 80 está apresentado gráfico do PPC ao longo do estudo.

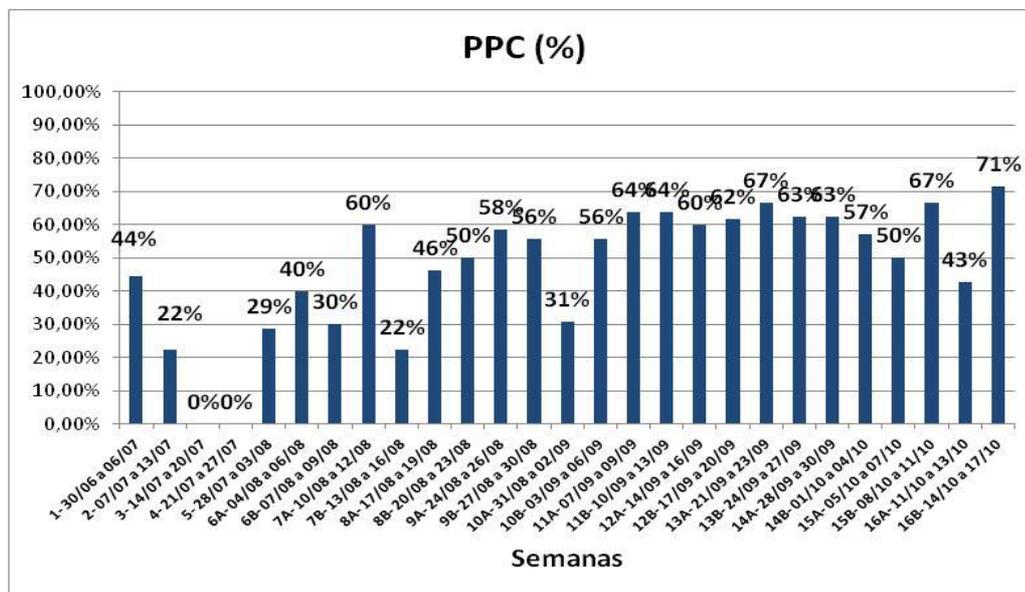


Figura 80: PPC - obra D

O PPC médio do empreendimento foi de 47%, sendo observada uma alta variabilidade desse indicador. Ainda, com base na Figura 80, pode-se notar que o indicador passou por uma fase de grande oscilação até a semana 10, depois passou por uma fase de crescimento entre as semanas 10 e 14. Já nas semanas seguintes o mesmo voltou a oscilar e na última semana

de acompanhamento atingiu seu valor máximo (71%). Além disso, durante o período do estudo observaram-se que vários fatores contribuíram para que o processo de PCP nessa obra fosse menos eficaz, fato que pode ser mais bem discutido analisando-se o indicador de causas acumuladas do não cumprimento dos pacotes de trabalho (Figura 81).

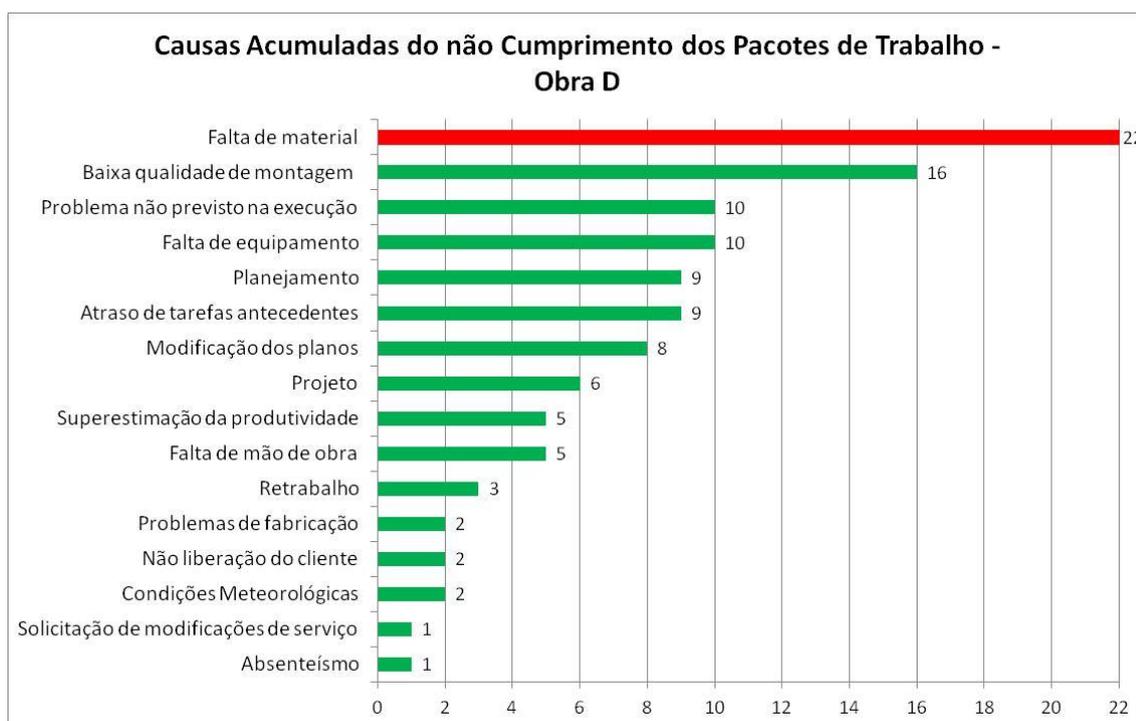


Figura 81: Gráfico de causas acumuladas do não cumprimento dos pacotes de trabalho - obra D

A principal causa de não cumprimento dos pacotes de trabalho foi a “Falta de Material”, já que o cronograma de fabricação de materiais não foi cumprido. Assim, muitos pacotes eram planejados considerando-se que o material chegaria à obra na data planejada, porém ou as subetapas chegavam atrasadas ou incompletas. Assim, os pacotes planejados não eram executados reduzindo os valores do PPC.

6.2.3.3 Aderência ao Lote de Entrega

Nessa obra também houve baixa aderência dos lotes de entregas das subetapas de materiais. A Figura 82 ilustra os desvios ocorridos entre a data final planejada para a chegada de cada uma das 8 subetapas de materiais de estrutura (vigas principais, de transição e acessórios).

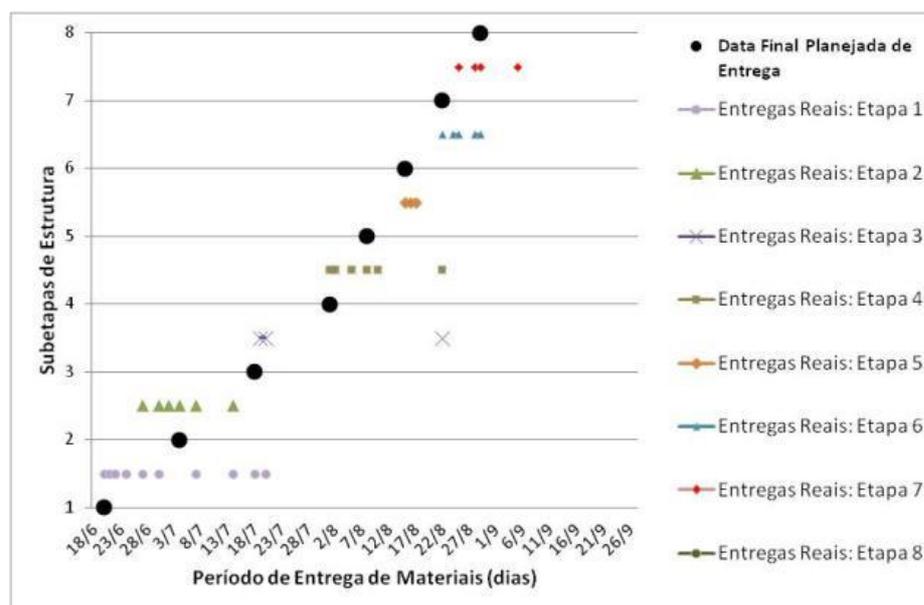


Figura 82: Aderência ao lote de entrega - obra D – subetapa de estruturas

Analisando a Figura 82, pode-se perceber que todo o material da primeira subetapa de estruturas deveria estar em obra no dia 20/06. Porém, o mesmo começou a chegar, a partir desse dia, mas foi sendo entregue em frações de materiais, por essa razão teve sua entrega concluída apenas no dia 20/07. Esses atrasos continuaram a acontecer ao longo das várias subetapas, até a entrega da última, contribuindo negativamente para o processo de PCP e resultando em atrasos dos processos produtivos em obra.

No entanto, apesar de ocorrerem esses atrasos nas entregas das subetapas de estrutura, as duas primeiras subetapas de telhas da cobertura começaram a ser entregues em obra até mesmo antes no prazo previsto, como pode ser visualizado na Figura 83. Tais ocorrências causaram muitos atritos entre o cliente e a empresa X, pois o primeiro não aceitava o fato de que os materiais da estrutura necessários para a montagem imediata haviam sido entregues com atraso e os materiais que ainda não eram necessários, como as telhas, haviam sido entregues adiantados.

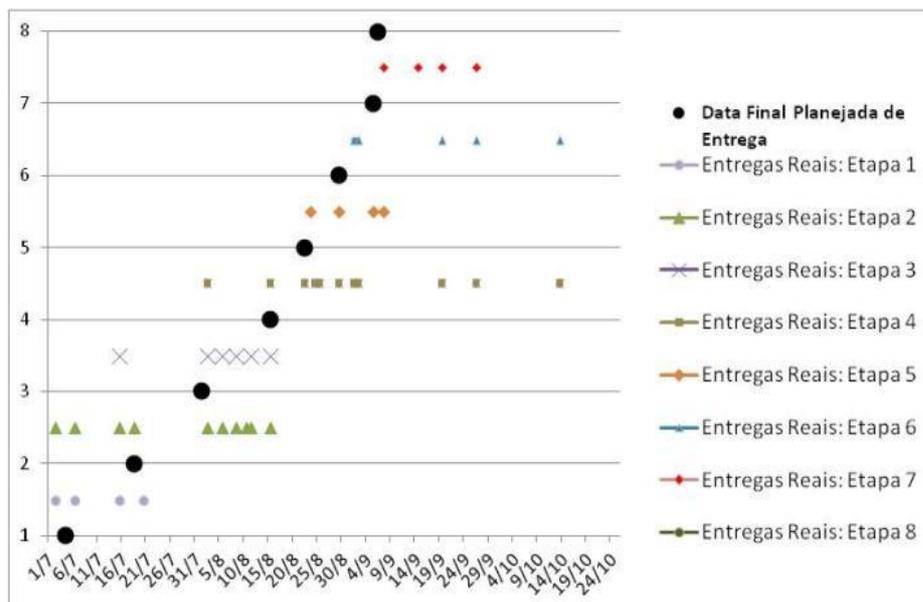


Figura 83: Aderência ao lote de entrega - obra D – subetapa de telhas

Representantes da empresa X explicaram que a entrega antecipada de telhas, em relação ao material de estrutura, ocorria porque o processo de fabricação desse material era mais simples e mais bem controlado pelo setor de planejamento. Além disso, como a empresa recebia um grande percentual de faturamento de cada empreendimento em função do material entregue em obra, não era interessante manter estoques de produtos acabados em fábrica.

6.2.3.4 Avanço Físico

Nessa obra, foi analisada a aderência em termos de avanço físico dos processos de pré-montagem das vigas principais da estrutura e da montagem da cobertura. Com relação as vigas principais, cujo material é entregue na subetapa de estruturas, houve baixa aderência em termos de avanço físico, como pode ser observado na Figura 84.

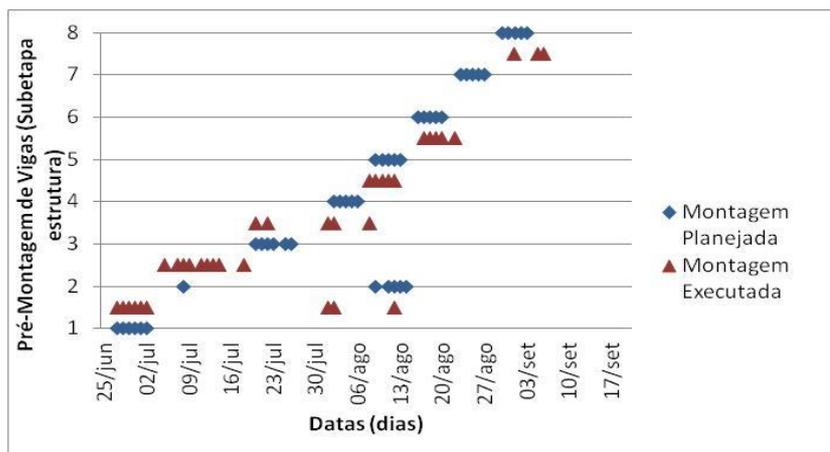


Figura 84: Aderência ao lote de planejamento - atividade de pré-montagem das vigas

O atraso na entrega de materiais impactou negativamente no avanço físico da obra, pois, como se pode visualizar na Figura 84, o início planejado para a atividade de pré-montagem das vigas principais da etapa 1 era 25/06 com término em 02/07. No entanto, a montagem iniciou na data planejada, mas a subetapa que continha os produtos para a execução desse serviço demorou um mês para chegar completa em obra. O término da execução dessa atividade também atrasou e foi concluída apenas em 12/08.

Ainda, apesar de terem ocorrido entregas antecipadas de parte das subetapas de telhas, a atividade de montagem do telhado, a qual utilizava esse material também atrasou, devido ao atraso nas atividades antecedentes. Na Figura 85 pode-se visualizar as datas planejadas para a montagem da cobertura em cada etapa da obra, bem como as datas em que realmente essas atividades foram executadas em cada etapa.

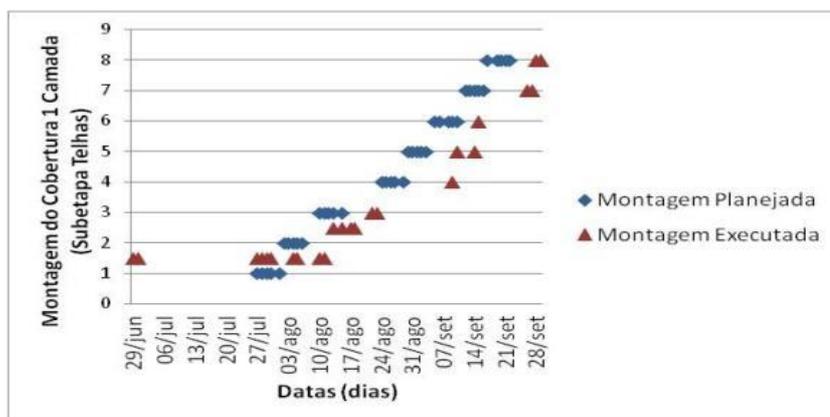


Figura 85: Aderência ao lote de planejamento - atividade de montagem da cobertura

Outro fator que também contribuiu de forma negativa para o avanço físico da obra foi o recebimento de algumas vigas principais cujas seções não estavam completamente planas, como ilustra a Figura 86. Assim, essas peças eram montadas em obra, mas, como a seção das peças não estava completamente plana, a atividade seguinte de alinhamento da estrutura de cobertura (Figura 87) demorava um tempo superior ao planejado para ser executada, gerando atrasos nas atividades subsequentes, como, por exemplo, na atividade de montagem do telhado. Em função dos problemas apontados, a obra foi entregue com atraso.



Figura 86: Deformações nas vigas



Figura 87: Atividade de alinhamento da estrutura de cobertura

6.3 ESTUDO EMPÍRICO E

Após análise e reflexão dos resultados dos estudos empíricos C e D, concluiu-se que, mesmo com a implementação do processo de PCP, havia muitas dificuldades para remover algumas restrições identificadas, relacionadas principalmente aos materiais necessários para a montagem do empreendimento. Assim, realizou-se um refinamento das ações de implementação do PCP realizadas nos estudos anteriores e elaborou-se a primeira versão de

um conjunto de diretrizes para realização de um processo de PCP de forma sistemática e participativa, que envolvesse também os demais setores da empresa X, os quais forneciam recursos (informações, projetos, materiais) para o processo de montagem nas obras.

Dessa forma, o estudo empírico E teve um escopo diferente em relação aos estudos C e D, sendo mais focado na elaboração do PSP. Por essa razão, a estrutura deste item é diferente daquela dos itens 6.2 e 6.3.

Para a elaboração do PSP, foram propostas as seguintes diretrizes:

- Realizar um processo de PCP integrado envolvendo os setores de planejamento, engenharia, PCP, manufatura, logística e montagem para reduzir a variabilidade interna.
- Envolver o cliente nas decisões de sequenciamento e plano de ataque da obra para reduzir a variabilidade externa.
- O escopo do PSP deve conter: (a) dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, equipes e equipamentos; (b) definição da sequência de execução; (c) definição do tamanho dos lotes de montagem, reduzindo-os, a partir de uma nova divisão das etapas em subetapas; (d) definição dos fluxos de trabalho com o uso da técnica da LOB, definindo cenários alternativos para diferentes planos de ataque (e) *layout* do canteiro.

Após a definição do plano de longo prazo, e com o início da obra, propôs-se a aplicação das seguintes diretrizes:

- Revisar o PSP, adequando-o à real situação da obra.
- Implementar o Sistema *Last Planner*, envolvendo representantes dos setores de engenharia, manufatura e logística no processo de identificação e remoção de restrições, em nível de médio prazo. Já no processo de PCP em nível de curto prazo realizar duas reuniões de PCP por semana, envolvendo o engenheiro de montagem e os encarregados das equipes das empresas subcontratadas.
- Controlar a aderência dos lotes de entrega de materiais e dos lotes de produção (montagem).

6.3.1 Projeto do Sistema de Produção da Obra E

Conforme foi citado, o objetivo principal deste estudo era elaborar o PSP antes do início da obra, adequando a produção dos setores a fim de atender às necessidades da obra. Para

tanto, o PSP da obra foi iniciado após a venda da mesma e antes que ela entrasse em fase de projeto.

O PSP foi desenvolvido a partir da realização de seis reuniões durante o período de três semanas, as quais ocorreram na sede da empresa. A primeira reunião, com duração aproximada de 90 minutos, foi realizada no dia 08/08/2012 e envolveu o gerente de contratos, o coordenador de contratos, a coordenadora de projetos, o coordenador de planejamento. Inicialmente foram debatidos os resultados dos estudos C e D e apresentado o objetivo da realização do estudo E, além de apresentadas as diretrizes que o guiariam. Na sequência, definiram-se os papéis de cada participante da reunião e listadas as informações que deveriam ser obtidas por eles até o encontro seguinte para prosseguimento do processo de elaboração do PSP.

Assim, ficou acordado que para a reunião seguinte o coordenador de contratos faria um pré-dimensionamento da capacidade das equipes e equipamentos a serem utilizados na obra, definiria junto ao cliente a sequência de montagem do empreendimento e acordaria a localização da área para descarregamento dos materiais. A coordenadora de projeto apresentaria informações sobre o tempo de projeto de cada subetapa, enquanto o coordenador de planejamento verificaria o tempo de produção médio de cada subetapa em fábrica, além da disponibilidade da fábrica para a produção dos diferentes produtos.

A segunda reunião de PSP ocorreu no dia 16/08, com duração de cerca de 60 minutos, contou com a participação da mesma equipe da reunião anterior, com exceção do gerente de contratos que não pode participar. Nessa reunião, utilizando as informações trazidas pelos participantes, acordou-se a sequência de montagem da unidade-base, que neste estudo também era uma etapa (Figura 88).

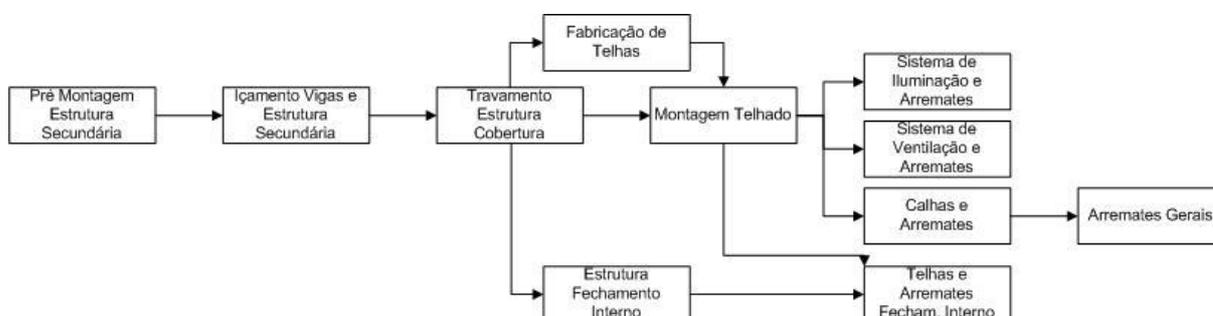


Figura 88: Sequenciamento da unidade-base

Posteriormente, dimensionou-se a capacidade produtiva das equipes e dos equipamentos, definindo-se os ritmos de montagem das principais atividades da etapa (Figura 89).

		Etapa 5		Equipamento			
		Equipe	Tempo de Ciclo	Munck	Plataforma	Guindaste	Máquina de Telha
Pré- Montagem de estrutura secundária	pç	6,00	11,00	1			
Aperto estrutura secundária	pç	2,00	10,00				
Pré montagem Vigas	ml	8,00	3,00	1			
lçamento e travamento de vigas	m ²	8,00	3,00	2	1		
lçamento estrutura secundária	m ²	8,00	3,00	2	1		
Travamentos Cobertura (correntes rígidas e contraventos)	m ²	2,00	3,00		1		
Fabricação de telha (sem considerar-mobilização)	m ²	1,00	3,00			1	1
Estrutura fechamento interno	m ²	4,00	3,00	1	1		
Telhas Sanduíche e arremates fechamento interno	m ²	4,00	5,00		1		
Montagem do Telhado Telha + Lã	m ²	8,00	8,00				
Sistema de Ventilação e arremates	m ²	6,00	7,00				
Sistema de Iluminação e arremates	m ²	4,00	6,00				
Calhas interna e arremates	ml	2,00	8,00				
Arremates Gerais	ml	2,00	6,00				

Figura 89: Dimensionamento da capacidade das equipes e equipamentos

Além disso, definiu-se o *layout* do canteiro visando à minimização de atividades de transporte em obra (Figura 90). Essa definição foi previamente acordada entre o cliente e o coordenador de contratos, a fim de evitar que, no início da execução do empreendimento, o mesmo não permitisse que os materiais fossem estocados no local planejado.

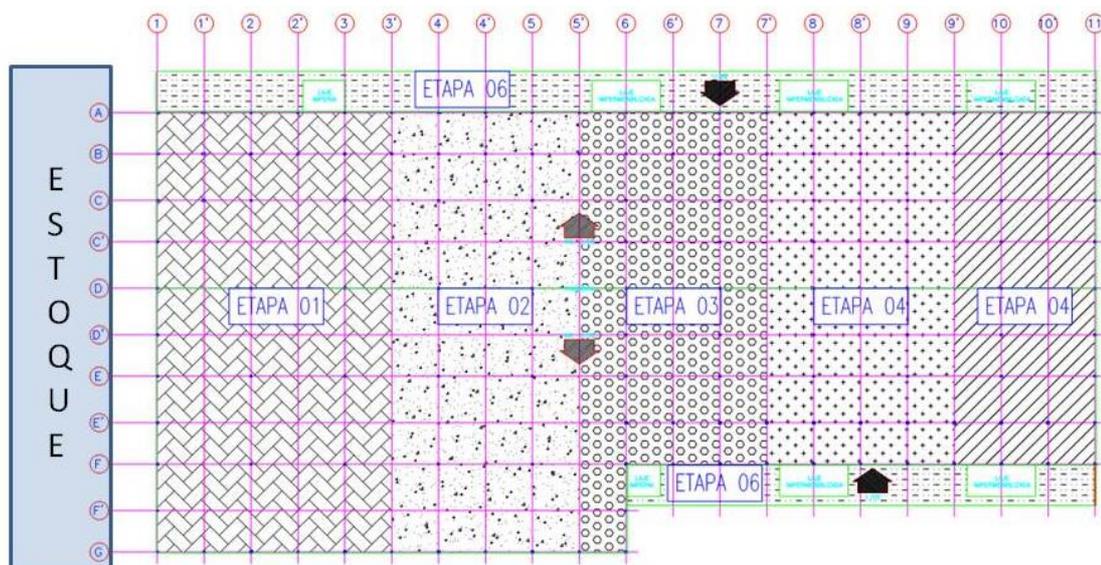


Figura 90: *Layout* do canteiro – obra E

A terceira reunião dessa pesquisa, com duração aproximada de 40 minutos, foi realizada com o analista do setor de logística e com o coordenador do setor de planejamento para verificar

quais as restrições de peso de materiais a serem carregados para a obra. Posteriormente, com as informações obtidas a partir das reuniões realizadas, foram feitos estudos de fluxo de trabalho, com a utilização da técnica da Linha de Balanço. Esses estudos foram realizados em parceria com o especialista em montagem e com o coordenador de planejamento, analisando-se a sequência de montagem em obra, de elaboração dos projetos, de fabricação e de entrega dos produtos em obra.

Posteriormente, foi realizada uma reunião com uma equipe multidisciplinar da empresa, composta por especialistas em melhoria contínua, gerente de fábrica, gerente de logística, analista de planejamento e projetistas, os quais estavam desenvolvendo uma proposta para nova divisão do empreendimento em subetapas. O objetivo dessa nova divisão era obter lotes menores de materiais, a serem produzidos e enviados para a obra de acordo com a sequência de montagem, em datas mais próximas à utilização, a fim de evitar a formação de grandes estoques de materiais no canteiro.

Assim, foi realizada nova divisão das etapas do empreendimento em subetapas, as quais representam os lotes de materiais a serem processados em cada setor, cujo peso total foi definindo respeitando as restrições de carregamento. Para esta pesquisa o objetivo da nova divisão das subetapas era evitar que materiais necessários para montagem de cada atividade chegassem atrasados ou adiantados no canteiro. Por exemplo, na subdivisão de subetapas existente, alguns acessórios importantes para pré-montagem de estruturas secundárias não chegavam junto com os materiais dessa subetapa, pois eram enviadas apenas com a subetapa seguinte, a de estrutura principal, o que gerava atrasos nas atividades de pré-montagem das estruturas secundárias em obra. A Figura 91 ilustra a antiga divisão de subetapas relativa à etapa 4 da obra e a Figura 92 exibe a nova divisão para essa mesma etapa.

ETAPA 4	Prédio Principal - Eixo 07 á 09 (3.825 m²)
04A.2	Estrutura Secundária
04A.3	Estrutura Principal
04B.1	Telha de Cobertura
04B.3	Telhas de fechamento, sistema de iluminação e ventilação e arremates

Figura 91: Antiga divisão de subetapas

ETAPA 4	Prédio Principal - Eixo 07 á 09 (3.825 m²)
04A.2	Estrutura Secundária
04A.3	Estrutura Principal
04B.1	Telha em Obra
04B.2	Telhas de Fechamento
04B.3	Sistema de Ventilação
04B.4	Sistema de Iluminação
04B.5	Calhas e Arremates da Cobertura

Figura 92: Nova divisão de subetapas

Posteriormente, realizou-se uma reunião com o coordenador de contratos da obra, obtendo-se novas informações sobre possíveis alterações nas datas de início de montagem, pois o cliente previa que seria necessário postergar o início da montagem dos sistemas construtivos metálicos tendo em vista que as atividades da empresa de concreto pré-moldado, responsável pela montagem dos pilares em obra, estavam atrasadas.

Assim, foram produzidos no período do dia 22/08 a 26/08, em conjunto com o coordenador de planejamento, coordenadora de projeto e coordenador de contratos, três planos de longo prazo para o processo de montagem, simulando diferentes cenários, em função de incertezas de origem interna e externa à empresa X, que poderiam interferir na execução das atividades. Essas simulações respeitaram a data final de montagem já acordada com o cliente durante a venda da obra. No entanto, foram simuladas diferentes datas de início da obra e distintos sequenciamentos de montagem. O resultado desse planejamento foram três Linhas de Balanços, três histogramas de recursos (materiais e mão de obra) e uma lista de restrições a serem removidas pela equipe envolvida no estudo antes do início da montagem da obra.

Ademais, a partir das diferentes necessidades de mão de obra, exigidas em cada plano de longo prazo, elaborou-se histogramas com o efetivo total de mão de obra a fim de negociar a contratação da equipe de montagem da obra (Figura 93).

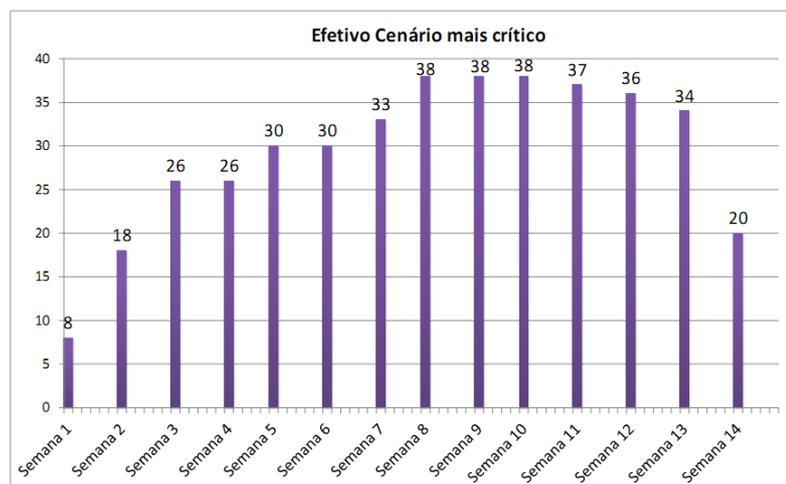


Figura 93: Histograma de mão de obra mais crítico

As três simulações resultaram na mesma quantidade de equipamentos (duas plataformas e três caminhões do tipo “munck”), como ilustra o histograma.

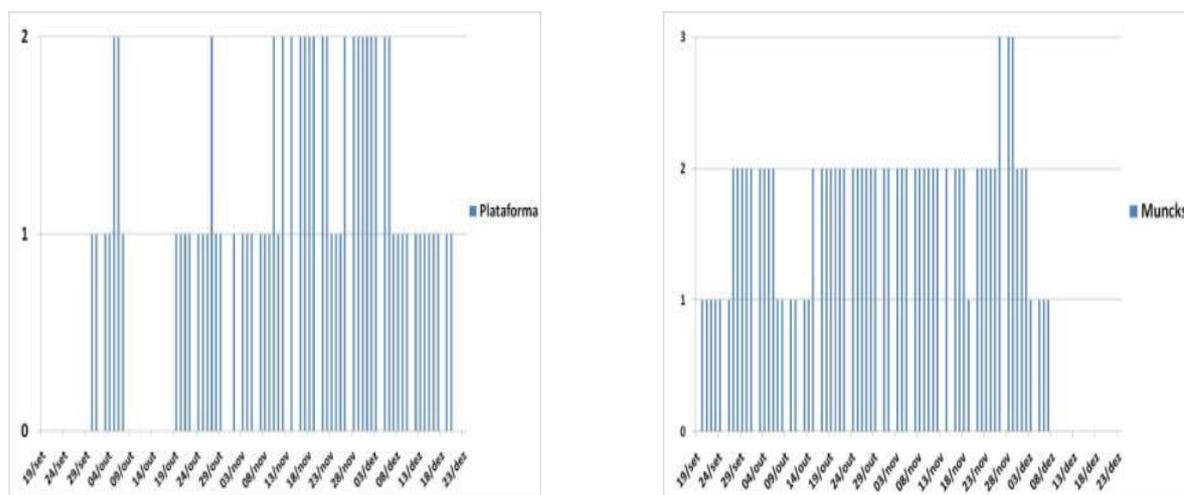


Figura 94: Histograma de equipamentos (plataformas e caminhões do tipo “Munck”)

Buscou-se também programar a entrega de subetapas completas em obra, respeitando um *buffer* mínimo de tempo de cinco dias entre a entrega e o início da montagem da atividade que utilizaria esse material. Porém, devido às restrições do sistema de produção da fábrica da empresa, já nessa fase de planejamento notou-se que não era possível atender ao *buffer* mínimo de cinco dias para algumas entregas, enquanto outras subetapas ficariam estocadas em obra por um período superior ao *buffer* inicialmente dimensionado, devido ao tamanho do lote de transferência utilizado entre algumas atividades. Assim, os tempos planejados que os materiais ficariam estocados em obra são ilustrados pela Figura 95:

Etapas		Buffer (dias)
ETAPA 1	Prédio Principal - Eixo 01 à 03 (4.781m²)	
01A.2	Estrutura Secundária	2
01A.3	Estrutura Principal	1
01B.1	Telha em Obra	4
01B.3	Sistema de Ventilação	4
01B.4	Sistema de Iluminação	4
01B.5	Calhas e Arremates da Cobertura	5
ETAPA 2	Prédio Principal - Eixo 03 à 05 (4.781m²)	
02A.2	Estrutura Secundária	6
02A.3	Estrutura Principal	4
02B.1	Telha em Obra	12
02B.3	Sistema de Ventilação	9
02B.4	Sistema de Iluminação	11
02B.5	Calhas e Arremates da Cobertura	9
ETAPA 3	Prédio Principal - Eixo 05 à 07 (4.303 m²)	
03A.2	Estrutura Secundária	6
03A.3	Estrutura Principal	6
03B.1	Telha em Obra	17
03B.2	Telhas de Fechamento	35
03B.3	Sistema de Ventilação	11
03B.4	Sistema de Iluminação	10
03B.5	Calhas e Arremates da Cobertura	6
ETAPA 4	Prédio Principal - Eixo 07 à 09 (3.825 m²)	
04A.2	Estrutura Secundária	7
04A.3	Estrutura Principal	6
04B.1	Telha em Obra	7
04B.2	Telhas de Fechamento	14
04B.3	Sistema de Ventilação	5
04B.4	Sistema de Iluminação	7
04B.5	Calhas e Arremates da Cobertura	2
ETAPA 5	Prédio Principal - Eixo 09 à 11 (3.825 m²)	
05A.2	Estrutura Secundária	12
05A.3	Estrutura Principal	8
05B.1	Telha em Obra	11
05B.2	Telhas de Fechamento	26
05B.3	Sistema de Ventilação	5
05B.4	Sistema de Iluminação	6
05B.5	Calhas e Arremates da Cobertura	3
ETAPA 6	Marquises	
06A.3	Estrutura Principal	3
06B.1	Telha em Obra	3
06B.3	Calhas e Arremates	4

LEGENDA	
	Buffer inferior a 5 dias
	Buffer telha em obra
	Entrega de telhas etapa 2 e 3
	Entrega de telhas etapa 4 e 5

Figura 95: *Buffer* de entrega de materiais

A partir desse plano de *buffers* apresentado na Figura 95, elaborou-se um plano de carregamento de materiais (Figura 96), o qual deveria ser seguido para que os *buffers* previstos ocorressem em obra. O plano de carregamento foi elaborado com base nos critérios utilizados pelo setor de logística da empresa, para dimensionar e compor as cargas a serem entregues em obra.

Plano de Carregamento de Materiais Obra Jatay - Versão 2- Data 02/09/2011 - Utilizando pesos estimados do orçamento						
Ordem de Carregamento	Logística		Sub-etapas a serem carregadas	Peso Total/Sub-etapas	Quantidade de Cargas	Peso médio/carga
	Início	Final				
1ª	15/09/11	19/09/11	01A.2	46,79	2,00	23,40
2ª	22/09/11	26/09/11	01A.3	31,11	2,00	15,55
3ª	23/09/11	27/09/11	02A.2	46,51	2,00	23,25
4ª	27/09/11	01/10/11	01B.1 e 01B.5	26,05	1,00	26,05
5ª	07/10/11	11/10/11	01B.3 e 01B.4	4,44	0,70	6,35
6ª	07/10/11	11/10/11	02A.3 e 03A.2	73,28	3,00	24,43
7ª	18/10/11	22/10/11	02B.1	22,86	1,00	22,86
8ª	18/10/11	22/10/11	03A.3 e 04A.2	71,44	3,00	23,81
9ª	25/10/11	29/10/11	02B.3 e 02B.4 e 02B.5 e 03B.2	19,36	2,00	9,68
10ª	25/10/11	29/10/11	03B.1	20,65	1,00	20,65
11ª	27/10/11	31/10/11	05A.2	37,38	2,00	18,69
12ª	01/11/11	05/11/11	04A.3	34,11	2,00	17,06
13ª	04/11/11	08/11/11	03B.3 e 03B.4 e 03B.5	6,95	1,00	6,95
14ª	11/11/11	15/11/11	04.B1	18,31	1,00	18,31
15ª	11/11/11	15/11/11	04B.2	36,20	2,00	18,10
16ª	11/11/11	15/11/11	05A.3	29,11	1,50	19,41
17ª	15/11/11	19/11/11	04B.3 e 04B.4 e 04B.5	6,20	1,00	6,20
18ª	18/11/11	22/11/11	05B.1	18,31	1,00	18,31
19ª	18/11/11	22/11/11	05B.2	10,34	1,00	10,34
20ª	19/11/11	23/11/11	06A.3	48,48	2,00	24,24
21ª	26/11/11	30/11/11	06B.1 e 06B.3	28,54	2,00	14,27
22ª	30/11/11	04/12/11	05B.3 e 05B.4 e 05B.5	6,20	1,00	6,20
Peso total				642,63	36	Qtd total fretes

Figura 96: Plano de carregamento das subetapas

Assim, o plano de carregamento (Figura 96) ilustra a sequência em que os materiais produzidos seriam carregados e entregues na obra, bem como também indica a composição de cada carga. Por exemplo, o nono carregamento deveria ser composto por materiais das subetapas 02B.3, 02B.4, 02B.5 e 03B.2, resultando em um peso total de 19,36 toneladas, peso este que deveria ser transportado em duas cargas de 9,68 toneladas, tendo em vista o volume ocupado por esses materiais.

Após a realização do PSP inicial da obra, com base nas três simulações de planejamento elaboradas com a ferramenta LOB, o antigo cronograma do empreendimento, foi modificado e as datas extraídas da Linha de Balanço, que representavam o cenário mais crítico, foram utilizadas para elaborar o novo cronograma. A partir dessa programação de demandas da obra, as datas de processamento das subetapas nos setores à montante da montagem foram readequadas, levando-se em considerações as restrições de cada setor quanto ao tempo de processamento mínimo de cada subetapa.

6.3.2 Implementação do Sistema *Last Planner*

Em 27/09/2012, após sete dias de atraso em relação à data acordada com o cliente para o início de obra, o mesmo autorizou o início da montagem da estrutura metálica. No primeiro dia de montagem, o engenheiro e a pesquisadora constataram que a sequência de montagem dos pilares pré-moldados de concreto estava diferente da sequência planejada para a montagem do sistema construtivo metálico. Embora o coordenador de contratos tenha realizado uma reunião com o cliente para definir esse sequenciamento, quando da realização do PSP, o cliente, posteriormente a essa reunião, negociou com a empresa de pré-moldados algumas alterações no sequenciamento dos pilares, mas não as repassou para a empresa X. Assim, a sequência de entrega das subetapas de materiais do sistema construtivo metálico ficou diferente da sequência de montagem viável. Apesar de o problema ter sido diagnosticado no início da montagem do empreendimento, não foi possível alterar a sequência de produção da fábrica. Então, os materiais continuaram sendo entregues na sequência planejada no PSP, e conseqüentemente parte desses materiais entregues foi estocada no canteiro, por não poder ser montada imediatamente.

A partir desse novo contexto, revisou-se o plano de longo prazo da montagem, de forma a adaptá-lo à real situação da obra. Também nessa mesma data elaborou-se um detalhamento do *layout* do canteiro, visto que os pontos de estoques de materiais deveriam ser bem planejados, pois muitos produtos ficariam estocados por longo período. Também ao final desse dia, realizou-se a primeira reunião de implementação do Sistema *Last Planner*, na qual se elaborou o plano de médio prazo, sendo produzida uma lista de novas restrições. Embora muitas restrições tenham sido removidas antes do início da obra, a partir do PSP, devido às alterações demandadas pelo cliente, novas restrições surgiram. Também se fez a primeira reunião de planejamento de curto prazo, envolvendo o encarregado da empresa de montagem, denominada nesse estudo de empresa P, o engenheiro de montagem e a pesquisadora. O primeiro plano de curto prazo foi elaborado com um horizonte de três dias, considerando-se os resultados positivos da utilização desse horizonte mais curto nos outros estudos.

Neste estudo, a pesquisadora participou apenas das duas primeiras reuniões, sendo que o engenheiro de montagem seguiu realizando o PCP apenas por um período de duas semanas. Em função de muitos atrasos das empresas que executavam atividades antecedentes à montagem da estrutura metálica e de atrasos na fabricação de subetapas pela empresa X, o processo de PCP tornou-se ineficaz, o que desmotivou a equipe. Assim, apesar de haver

muita variabilidade no processo, elevando a importância e a necessidade de realização do PCP, a equipe de obra não seguiu com a implementação do processo de PCP proposto.

6.3.3 Análise dos Resultados do Estudo Empírico E

Como ocorreram muitos atrasos nas entregas de materiais da empresa X em obra, apesar do forte envolvimento de outros setores na elaboração do PSP, resolveu-se investigar as causas dos atrasos.

A Figura 97 ilustra a aderência dos lotes de fabricação produzidos para cada etapa da obra, em relação à data planejada de conclusão de fabricação de sua respectiva subetapa completa. Cabe salientar que nessa obra cada uma das cinco etapas era subdividida em 6 subetapas (representadas pelas linha horizontais entre as etapas na Figura 97), as quais eram subdividas, por sua vez, em quantidades variáveis de lotes de fabricação, (representados pelos triângulos vermelhos). Ainda, todos os lotes de cada subetapa deveriam ser concluídos até a data-fim de fabricação planejada para sua respectiva subetapa (data representada pelo losango azul).

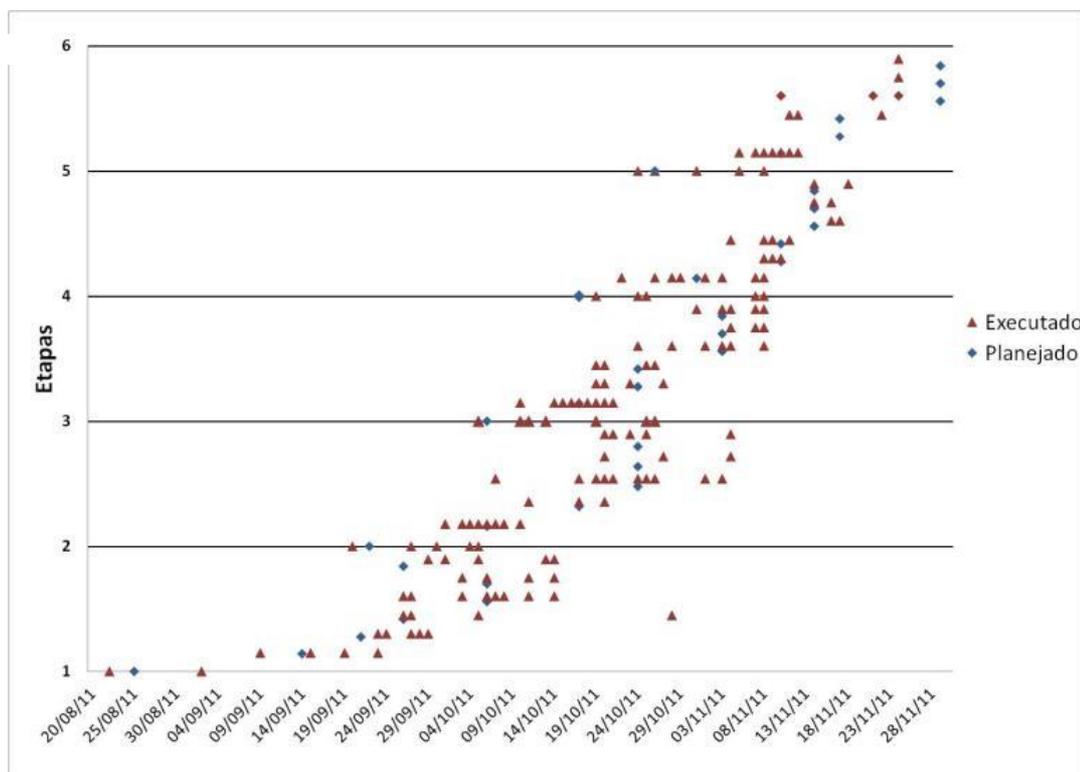


Figura 97: Avanço físico produção dos lotes de fabricação

Os dados apresentados na Figura 97 confirmam as informações obtidas em entrevistas com o coordenador de contratos e com o coordenador de planejamento, os quais afirmaram que

os problemas de atraso na fabricação foram mais frequentes nas três primeiras etapas. A partir da quarta etapa, a aderência dos lotes de fabricação em relação às datas finais planejadas para conclusão das respectivas subetapas aumentou.

Utilizando-se dados de controle do setor de planejamento da empresa X, também foram elaborados gráficos, indicando a aderência do processo de manufatura dos lotes de fabricação de cada subetapa em relação às respectivas datas planejadas para o processamento (Figura 98).

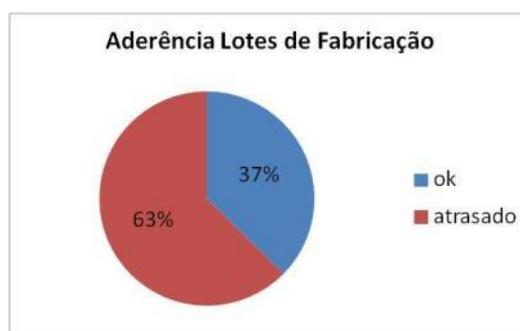


Figura 98: Percentual de aderência dos lotes de fabricação

Com base na Figura 98, nota-se que dos 270 lotes de fabricação referentes às cinco etapas do galpão principal da obra, apenas 37% (101 lotes) foram produzidos sem atraso. Além disso, fez-se uma comparação entre os pesos dos lotes de fabricação dessa obra, adotando-se como referência para a classificação do lote como leve ou pesado o peso mediano dos lotes fabricados para essa obra. Assim, quando o peso do lote era inferior ao peso mediano, o mesmo era considerado um lote leve e, se superior ao peso médio, era considerado pesado. Os resultados são apresentados na Figura 99.

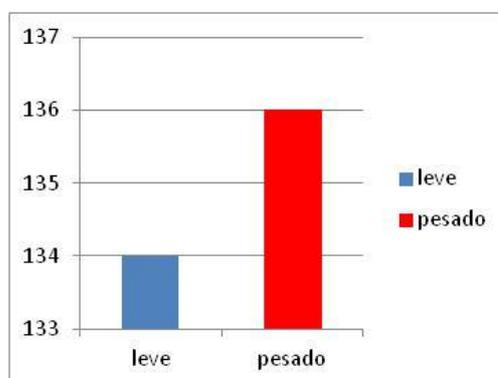


Figura 99: Classificação dos lotes de fabricação por peso

Assim, confrontando-se as informações entre lotes fabricados com e sem atraso e lotes classificados como leves ou pesados, dos 136 lotes classificados como pesados, 57 (41,91%) foram entregues sem atraso, ao passo que dos 134 lotes classificados como leve apenas 44 (32,83%) foram entregues sem atraso. Portanto, conclui-se que não foi apenas o fato de existirem muito lotes de fabricação leves referentes a essa obra que resultou no atraso da fabricação. Por isso, realizaram-se também entrevistas com o coordenador de planejamento e com o gerente de contratos para entender as causas desses atrasos.

Com base nas informações coletadas nas entrevistas, é possível dizer que, no período de fabricação de algumas subetapas dessa obra, a empresa enfrentou um problema de falta de capacidade produtiva na fábrica, que pode ser apontado como um dos motivos dos atrasos na fabricação dos lotes das três primeiras etapas. A empresa havia adquirido há alguns meses um equipamento novo que aumentaria a capacidade da linha de produção da estrutura secundária, já no período de fabricação dessa obra. Porém, o mesmo atrasou para ser entregue e instalado pelo fornecedor. Assim, essa linha de produção não conseguiu produzir material na quantidade necessária para atender à demanda de fabricação planejada para o período, a qual havia sido calculada incluindo a capacidade produtiva desse equipamento novo.

A Figura 100 apresenta um indicador de aderência do processo de entrega das subetapas das três primeiras etapas da obra, além de demonstrar o percentual de lotes de fabricação entregues em obra até a data planejada de entrega da subetapa completa em obra e o percentual de lotes entregues com atraso.



Figura 100: Percentual de aderência dos lotes de entrega

Com base nas Figura 100, nota-se que, dos 170 lotes de fabricação referentes às três primeiras etapas, apenas 18% (30 lotes) foram entregues em obra sem atraso, enquanto 82% dos lotes restantes (140 lotes) foram entregues com atraso. Com base nos dados obtidos, pode-se concluir que o sistema de produção da empresa X apresenta problemas de

confiabilidade de prazo não apenas por problemas no PCP da montagem em obras. Mesmo com a implementação do processo de PCP nos estudos realizados, a empresa continuou com dificuldades para concluir suas obras no prazo, indicando a existência de outros problemas, que envolvem outros setores da empresa X. Portanto, esses resultados indicam a necessidade de desenvolver um processo de PCP integrando diferentes setores, tais como engenharia, fabricação e montagem.

Com a realização deste estudo observou-se que, embora tenham ocorrido melhorias no processo de PCP, pois houve uma integração entre os setores, não foi possível implementar todas as diretrizes propostas para o estudo, pois não se conseguiu reduzir a variabilidade em processos a montante, tanto internos quanto externos à empresa X. Assim, os resultados obtidos apontaram que muitas melhorias ainda devem ser realizadas, visando a aumentar a estabilidade e a confiabilidade do processo produtivo da empresa, de forma a ser possível puxar essa produção com base nas necessidades das obras.

6.4 DISCUSSÃO

A partir dos estudos realizados, foram propostas diretrizes para o desenvolvimento e a implantação do sistema de PCP em obras de empresas que projetam, fabricam e montam sistemas construtivos metálicos, incluindo o Projeto de Sistema de Produção e a implementação do PCP, com base no Sistema *Last Planner* neste contexto específico.

Nas seções 6.4.1 e 6.4.2 são apresentadas as diretrizes para condução do processo de elaboração do PSP e de implementação do Sistema *Last Planner*, respectivamente. Posteriormente, na seção 6.4.3 são propostas diretrizes para o desenvolvimento de sistemas de PCP diferenciados em função das categorias de empreendimentos produzidos pela empresa X.

6.4.1 Mudanças no Escopo de Decisões do PSP

Neste trabalho foi utilizado, como ponto de partida para a elaboração do projeto do sistema de produção, o modelo de PSP proposto por Schramm (2004), o qual possui seis etapas, agrupadas de acordo com a unidade de análise, tais como a unidade-base ou o empreendimento. Diferentemente das empresas estudadas por Schramm (2004), o escopo do PSP da obra era bastante limitado, na medida em que existe um elevado grau de padronização dos produtos e muitas decisões referentes ao processo de montagem são tomadas no âmbito da empresa como um todo. A tecnologia construtiva e a sequência das principais etapas do processo de montagem é muito similar em todas as obras. Além disto, o

sistema de produção da empresa era bastante verticalizado, sendo terceirizado, em geral, apenas o processo de montagem.

Assim, o PSP da obra é focado nas decisões de sequenciamento das etapas (lotes) da obra, *layout* do canteiro, incluindo locais de estocagem de componentes, dimensionamento da capacidade de produção de equipes e equipamentos e definição dos fluxos do trabalho. Em nenhum dos estudos houve demanda para a realização de projeto de processos críticos, já que não houve nenhuma situação atípica que exigisse um sequenciamento de atividades diferente daquele normalmente realizado na maioria das obras.

No contexto de empresas que projetam, fabricam e montam sistemas construtivos metálicos é importante envolver na elaboração do PSP diferentes setores da empresa. Se esta tarefa é realizada somente pela gerência da obra, como foi realizado nos estudos C e D, o escopo de decisões que podem ser tomadas fica limitado a detalhes ou alterações na sequência de execução da unidade-base e dimensionamento da capacidade dos recursos. Nos estudos C e D, não foi possível realizar alterações substanciais na estratégia de montagem previamente definida pela empresa durante a elaboração do plano-mestre, ainda na etapa de contratação destas obras, pois a sequência de materiais a ser entregue em obra já estava pré-definida. Assim, a elaboração do PSP limitou-se em planejar como melhor utilizar os recursos em obra, definindo-se melhor os percursos a serem percorridos pelas equipes para a execução das diferentes atividades.

Ao se envolver representantes de outros setores, como foi feito no estudo E (Engenharia, Manufatura e Logística), ampliou-se o escopo de decisões, sendo possível discutir o plano de ataque da obra, levando-se em conta limitações dos setores de Engenharia, Manufatura e Logística, bem como as necessidades da obra. De fato, a empresa poderia se beneficiar mais do PSP se este iniciasse ainda na fase de contratação de obras, quando poderia ser elaborada uma versão pouco detalhada do mesmo. À medida que o início da obra se aproximasse o PSP poderia ser revisado e detalhado, levando em conta informações adicionais produzidas e também eventuais mudanças nas necessidades dos clientes.

Na etapa de estudos dos fluxos de trabalho na unidade-base, foi utilizada a técnica da Linha de Balanço, que oferece informações visuais sobre os fluxos do trabalho, definindo o ritmo das equipes, o sequenciamento das etapas e o tamanho do lote. Nas implementações realizadas houve algumas limitações em termos de realizar alterações na composição das equipes, a fim de balancear os diferentes ritmos de produção, pois as empresas subcontratadas para a montagem geralmente tinham autonomia sobre essa decisão. Mesmo com as tentativas de negociação não foi possível realizar alterações substanciais. Além disso,

como havia muitas datas-marco já pré-definidas e acordadas com o cliente, como, por exemplo, datas de início e fim da montagem de cada etapa e data de entrega do empreendimento, a elaboração do plano com a Linha de Balanço limitou-se a adequar o fluxo de trabalho respeitando essas restrições. A Linha de Balanço também pode ser utilizada para fazer simulações de cenários, considerando, por exemplo, as possibilidades de reduzir o tamanho dos lotes, e sincronizar o trabalho de diferentes equipes. Tais cenários podem ser avaliados em função do prazo necessário para a conclusão da obra e da configuração do histograma de recursos de mão de obra e de equipamentos.

6.4.2 Mudanças no Processo de PCP em nível de Médio e Curto Prazos

Com relação à implementação do Sistema *Last Planner*, ao longo dos estudos observou-se que houve dificuldades na implementação do PCP em nível de médio prazo, não sendo possível obter um *buffer* de atividades livres de restrições prontas para serem executadas no curto prazo. Além das dificuldades normais de realização de planejamento de médio prazo (ver BALLARD; HOWELL 1997; HOWELL *et al.*, 1993, BALLARD; HOWELL, 1995), a gerência das obras tinha muito pouco impacto na remoção de restrições relacionadas à entrega de materiais em obra. Embora as mesmas fossem identificadas pela equipe de obra, não eram removidas no prazo. Por esta razão, na tentativa de não atrasar atividades planejadas, os engenheiros de montagem incluíam no plano de curto prazo pacotes de trabalho que ainda possuíam restrições. Algumas vezes iniciava-se a execução desses pacotes de trabalho e tentava-se efetuar a remoção das restrições dentro do ciclo semanal. No entanto, quando não era possível remover tais restrições, a execução do pacote de trabalho era interrompida, aumentando a quantidade de trabalho em progresso em obra.

Assim, o planejamento de médio prazo deve ter seu escopo ampliado neste contexto, não se limitando a identificar restrições na obra. É importante haver uma instância de planejamento de médio prazo que abarcasse não somente o processo de montagem, mas também a fabricação e, em obras de duração mais longa, também a engenharia (projeto). Ou seja, o impacto do planejamento de médio prazo na obra somente será alto se estiver conectado com o planejamento das etapas anteriores, envolvendo representantes dos setores de engenharia, manufatura e logística. Deste modo, durante a obra, o planejamento de médio prazo deve ser mais focado nas restrições que podem efetivamente ser removidas com a participação da gerência da obra.

Com relação ao processo de PCP em nível de curto prazo, mostrou-se benéfica a realização de duas reuniões por semana nas fases iniciais de implementação. Além disso, deve-se buscar utilizar, durante as reuniões, elementos visuais, como, por exemplo, projetos, a fim de

facilitar a definição e o dimensionamento dos pacotes de trabalho, por parte das equipes de montagem.

6.4.3 Diretrizes para a Implementação do Sistema *Last Planner*

Com base nos resultados obtidos nos estudos de implementação do PCP e nas discussões com a equipe técnica da empresa, sugeriu-se que a empresa X adotasse processos de PCP distintos, para diferentes tipos de empreendimentos. Assim, foram elaboradas propostas para as três categorias de empreendimentos estudadas (A, B e C).

A categoria de empreendimentos do tipo A é constituída por obras cujo processo de projeto e montagem possui menor complexidade, sendo normalmente obras de montagem mais rápida, para as quais a existência de muitas incertezas no processo frequentemente significa atraso na entrega do produto final ao cliente. Nesse contexto, é proposto que seja enfatizada a importância de definição do PSP, em momento anterior ao início do processo de fabricação das peças do empreendimento. Além disso, para aumentar a flexibilidade do sistema produtivo, entre a etapa de projeto e de fabricação, seria planejado um *buffer* de projetos de subetapas, pois, assim, haveria tempo de readequar a produção da fábrica a partir das necessidades da obra. Dada a similaridade entre as obras dessa categoria, poderiam ser preparados PSPs padronizados, os quais contribuiriam para que o processo de PCP se tornasse mais rápido e eficaz.

Assim, o plano de longo prazo seria definido, posteriormente, a partir do PSP. No nível de médio prazo, por sua vez, seria feito um plano para toda a obra, se possível envolvendo uma equipe com representantes dos diferentes setores (engenharia, manufatura, logística e montagem), os quais também seriam responsáveis pela execução de ações para a remoção de restrições, a fim de aumentar a efetividade do plano. Esse processo deveria ter início antes do início da montagem da obra, com um intervalo de tempo suficiente para que, caso o cliente necessite alterar o sequenciamento da montagem, ainda houvesse tempo disponível para efetuar alterações na sequência de fabricação dos produtos. O plano de médio prazo poderia ser utilizado para confirmar e puxar a produção da fábrica. Após essa etapa, a obra é iniciada com a existência, em canteiro, de um *buffer* dimensionado de materiais. Essa seria uma estratégia temporária adotada com o objetivo de proteger o processo de montagem da variabilidade existente no processo de fabricação. Com relação ao processo de PCP em nível de curto prazo, como os planos referentes aos níveis hierárquicos superiores seriam mais controlados, poderia ser realizada apenas uma reunião semanal, a qual envolveria o engenheiro de montagem e os encarregados das equipes de montagem.

A categoria de empreendimentos do tipo B é composta por obras cujo projeto e montagem, em relação à categoria A, têm maior complexidade. Os empreendimentos muitas vezes são compostos pelo galpão principal e mais alguns anexos, que podem ser, por exemplo, pontes rolantes, mezaninos e plataformas, entre outros. Nessas obras, o PSP poderia ser desenvolvido antes de iniciar a etapa de projeto, tendo como foco definir claramente o plano de ataque da obra, a sequência de execução e, principalmente, sincronizar o trabalho das diferentes equipes e definir os percursos a serem percorridos por elas para a execução do empreendimento. Além disso, para o planejamento dos ritmos de produção das equipes e equipamentos, deveriam ser consideradas as particularidades do projeto. Assim, a programação dos setores poderia ser realizada de acordo com as necessidades da obra.

Na sequência, em um período que anteceda o início da obra, poderia ser iniciado o PCP em nível de médio prazo, envolvendo também uma equipe multifuncional com representantes dos diferentes setores (engenharia, manufatura, logística e montagem), a qual deverá ser comprometida com a remoção de restrições e com elaboração do primeiro plano de médio prazo. Esse plano teria como função principal confirmar se a sequência de produção dos materiais deve ser mantida conforme o planejado no longo prazo. E, no decorrer da execução do empreendimento, as demais reuniões do processo de PCP em nível de médio prazo seriam realizadas em obra com a função principal de fornecer *feedback* para que a programação da fabricação dos materiais seja puxada pela demanda da obra.

Com relação ao processo de PCP, em nível de curto prazo, seriam realizadas no primeiro mês de montagem duas reuniões semanais em obra, pois, como essa categoria abrange empreendimentos mais complexos, é necessário um esforço maior de controle para manter a aderência da sequência de montagem e para compreender a causa raiz das divergências, a fim de evitar que os problemas se repitam. Posteriormente, quando houver mais estabilidade no processo de planejamento, seria realizada apenas uma reunião semanal, pois, sem as informações de controle obtidas nesse nível, o *feedback* passado aos setores a montante seria de baixa confiabilidade.

Finalmente, a categoria de empreendimentos do tipo C é composta por obras mais complexas, que exigem projetos específicos e que podem ter prazos de entrega intermediários a longos (maiores que seis meses). Neste caso, deve ser elaborado um PSP específico, de acordo com as características e necessidades de cada empreendimento, antes do empreendimento entrar em fase de projeto no setor de engenharia.

Assim como para as outras categorias, o início do processo de PCP em nível de médio prazo poderia ser realizado em um intervalo de tempo que antecede o início de obra, envolvendo

uma equipe com representantes dos diferentes setores, os quais devem ser envolvidos nas tarefas de remoção de restrições. Esse processo também teria como principal função confirmar se a sequência de produção dos materiais deve ser mantida conforme o planejado no longo prazo. Posteriormente, os demais processos de PCP seriam desenvolvidos em obra, mantendo-se a sua função de puxar a produção da fábrica. Ademais, nessa categoria de empreendimentos, também seriam realizadas inicialmente duas reuniões semanais para planejamento de curto prazo, reduzindo-se posteriormente para apenas uma reunião semanal em obra.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as sínteses das conclusões obtidas com o desenvolvimento da pesquisa e as recomendações para trabalhos futuros.

7.1 CONCLUSÕES

A presente dissertação tem como objetivo propor diretrizes para a implementação do Planejamento e Controle de Produção, baseado no Sistema *Last Planner*, em obras de sistemas construtivos metálicos. No contexto estudado, a empresa é responsável pelo projeto, fabricação e montagem desses sistemas construtivos. O objetivo geral foi definido a partir da necessidade de empresas desse setor em desenvolver um processo de Planejamento e Controle da Produção eficaz e formalizado, no ambiente de montagem das obras.

Com base na identificação de uma lacuna de conhecimento na literatura existente, foi formulada a questão principal de pesquisa: Como realizar o planejamento e o controle da produção em obras de empresas que projetam, produzem e executam sistemas construtivos metálicos? Para respondê-la, foi iniciado um estudo sobre o sistema produtivo de uma empresa que projeta, fabrica e monta sistemas construtivos metálicos, e realizado um diagnóstico aprofundado das atividades de PCP que ocorriam em obras da empresa em questão. Foi formulada também a segunda questão de pesquisa: Como aumentar a confiabilidade do processo de montagem da obra, a fim de criar condições favoráveis à produção puxada no ambiente de empresas que fornecem ao mercado projeto, produção e montagem de sistemas construtivos metálicos? Para responder a esta questão foi necessário realizar adaptações no Sistema *Last Planner*, a fim de proteger a produção da incerteza e variabilidade que envolve a produção de sistemas construtivos metálicos, sendo esse o objetivo secundário da presente pesquisa.

Assim, para responder às questões de pesquisa e atingir os objetivos planejados, este estudo foi dividido em duas etapas principais, cuja primeira correspondeu ao desenvolvimento de um diagnóstico de todo o sistema produtivo da empresa X. Foram estudados os setores que geravam materiais ou informações importantes para a realização do processo de montagem, entre eles o setor de planejamento, orçamento, engenharia, PCP de fábrica, manufatura e logística. Além disso, foram realizados dois estudos empíricos (A e B) para caracterização do processo de PCP realizado nas obras da empresa.

Os resultados obtidos com a caracterização da empresa e com a realização dos estudos empíricos A e B contribuíram para a compreensão das características principais do sistema de gestão da produção da empresa estudada. Percebeu-se que havia muita variabilidade não somente no processo de montagem, mas também em outros processos da empresa. Com tais informações, foi possível planejar o desenvolvimento e a implementação do processo de PCP para as obras dos estudos seguintes, a fim de contribuir para a formalização e o aumento da eficácia do processo.

Como continuação, realizaram-se os estudos empíricos C e D, nos quais foram feitas intervenções no processo de PCP das obras, por meio da implementação de um processo de PCP formalizado, o qual se embasou principalmente no Sistema *Last Planner*. Além disso, para cada uma das obras, foi elaborado o projeto do sistema de produção, tendo como referência o modelo proposto por Schramm (2004), o qual foi adaptado ao contexto estudado.

Os resultados obtidos no estudo C indicaram que a implementação havia sido bem sucedida. No entanto, observou-se que havia limitações quanto à remoção de restrições em nível de médio prazo, quando as mesmas estavam relacionadas à entrega de materiais em obra. Essas limitações não chegaram a provocar impacto nos resultados deste estudo. Porém, o problema foi evidenciado pelas dificuldades enfrentadas para a identificação e a remoção de restrições em nível de médio prazo durante a realização do estudo D, ocasionadas principalmente pela grande quantidade de restrições existentes nos processos à montante da montagem, especialmente relacionadas ao processo de manufatura e entrega de materiais.

Assim, uma das principais dificuldades diagnosticadas em nível de médio prazo do processo de PCP foi que a gerência de obra não tinha autonomia para remover todas as categorias de restrições, haja vista que muitas vezes tais restrições estavam relacionadas a outros setores da empresa, sobre os quais a gerência de obra não tinha ingerência. Com frequência, por exemplo, os gestores de diferentes áreas da empresa X, por diferentes causas, tinham a necessidade de adiantar ou postergar a elaboração de projetos, ou a fabricação e a entrega de materiais de diferentes obras. Assim, não havia como a equipe da obra estudada garantir a entrega dos produtos da respectiva obra nas datas programadas.

Por outro lado, destaca-se que o PCP implementado também trouxe benefícios para a empresa, apesar de estar restrito ao processo de montagem. Por exemplo, no estudo C, a partir do planejamento do *layout* do canteiro, foi possível reduzir a parcela de atividades que não agregam valor ao produto relacionadas às atividades de transporte e inspeção de materiais. Ademais, com a implementação do processo de PCP também foi possível promover o aumento da transparência das metas deste empreendimento, sendo possível antecipar

possíveis problemas e atrasos, com consequente melhoria de relacionamento com o cliente e entrega da obra no prazo contratado.

Todavia, as principais dificuldades de implementação detectadas indicaram que havia necessidade de mais investimentos em capacitação de pessoal e mudanças organizacionais, com a finalidade de proporcionar maior integração do processo de PCP de obra com os processos de planejamento de outros setores, especialmente engenharia, manufatura e logística.

Assim, a partir dos resultados obtidos nos estudos empíricos A, B, C e D desenvolveu-se o estudo empírico E, o qual foi realizado na etapa de consolidação da pesquisa, cuja principal finalidade era desenvolver o processo de PCP de maneira a integrar os principais setores da empresa (engenharia, manufatura, logística e montagem). O início do estudo foi marcado pela elaboração do sistema de produção do empreendimento logo após a sua contratação, sendo, então, possível realizar algumas alterações na sequência de processamento dos lotes de produção dos diferentes setores, antes que tais setores iniciassem suas atividades, a fim de atender as demandas do setor de montagem.

Destaca-se também que o projeto do sistema de produção e o primeiro ciclo de planejamento de médio prazo, do estudo E, foram desenvolvidos por uma equipe composta por gestores dos diferentes setores selecionados, visando compromete-las principalmente com as necessidades de remoção de restrições pertinentes a cada setor, oriundas deste primeiro ciclo de planejamento de médio prazo e preparando-os para participar dos futuros ciclos. No entanto, durante a execução da obra E restrições relacionadas com o cliente e com a fabricação e entrega de materiais impediram que as atividades fossem realizadas conforme o sequenciamento e o ritmo planejados. O resultado insatisfatório da implementação indicou que mesmo com esforço inicial de elaboração do PSP e do primeiro plano de médio prazo ainda havia muita variabilidade no processo, fato que evidenciou a necessidade de realizar melhorias nas diretrizes propostas.

Ao fim dos estudos, foram então refinadas e propostas as diretrizes finais para a realização do processo de PCP em empresas responsáveis pelo projeto, fabricação e montagem de sistemas construtivos metálicos. Foram definidos três processos de PCP distintos, um para cada categoria de obra estudada (A, B e C), sendo as principais diferenças entre os processos propostos apresentadas na Figura 101.

	Categoria A	Categoria B	Categoria C
PSP	<p>Criar buffer de projetos e iniciar o PSP antes do processo de fabricação, o qual será programado de acordo com as necessidades da obra</p> <p>Futuro: Criar PSPs referência para obras similares</p>	<p>Iniciar PSP antes do processo de projeto, com foco na sincronização e na definição dos fluxos das diferentes equipes, e programar a produção dos demais setores de acordo com as necessidades da obra</p>	<p>Elaborar PSP específico, antes do início do projeto, de acordo com as características e necessidades de cada empreendimento, e programar as atividades dos demais setores de acordo com as necessidades da obra</p>
Médio Prazo	<p>Elaborar um plano de médio prazo para toda a obra, antes do processo de montagem</p>	<p>Iniciar o planejamento de médio prazo antes de iniciar o processo de montagem e prosseguir durante a obra</p>	<p>Iniciar o planejamento de médio prazo antes de iniciar o processo de montagem e prosseguir durante a obra</p>
Curto Prazo	<p>Iniciar a obra com um buffer dimensionado de materiais, e realizar reuniões semanais</p>	<p>Realizar duas reuniões semanais no início da obra e depois reduzir para uma reunião semanal</p>	<p>Realizar duas reuniões semanais no início da obra e depois reduzir para uma reunião semanal</p>

Figura 101: Diferenças entes os processos de PCP – categorias A, B e C

Ainda, destaca-se que, ao final do presente trabalho, a empresa decidiu dar seguimento à implementação das diretrizes propostas em outras obras, sob a liderança do Departamento de Melhoria Contínua. Assim, é possível afirmar que este trabalho contribuiu para iniciar um processo de mudança nos diferentes setores da empresa, indicando algumas necessidades de melhorias tais como a integração e transparência entre os setores, desenvolvimento do processo de planejamento e controle e produção tendo como processo puxador o setor de montagem, formalização e identificação das causas dos problemas que ocorrem durante o processo de montagem, a fim de que tais informações possam retroalimentar diferentes setores da empresa. Portanto, é possível dizer que este estudo cumpriu com o principal objetivo de uma pesquisa que adota a pesquisa-ação com uma abordagem prescritiva, visto que manteve o foco na utilidade do novo sistema desenvolvido (diretrizes), o qual tem orientado a implementação de mudanças da empresa estudada, e poderá ser utilizado como referência para a implementação de boas práticas em outras empresas do segmento estudado.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros a serem desenvolvidos no segmento de empresas envolvidas no projeto, fabricação e montagem de sistemas construtivos metálicos, destacam-se as seguintes:

- Desenvolver estudos utilizando as diretrizes finais propostas por este trabalho, a fim de comparar os resultados obtidos nos estudos deste trabalho, com os resultados obtidos com o uso das referidas diretrizes.
- Investigar formas de melhorar o fluxo de informação e materiais entre os processos desenvolvidos pelo setor de engenharia (projeto), manufatura e montagem de obra.
- Investigar e propor meios para quantificar financeiramente os ganhos obtidos com a utilização das diretrizes propostas.
- Investigar e propor ferramentas para alcançar a maior integração entre os setores de manufatura e logística, a fim de que haja sincronia entre o que é entregue e produzido em obra.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKEL, N. G. *et al.* **Considerations for Streamlining a Vertically Integrated Company: a Case Study.** In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9, 2001, Singapore. Proceedings... Singapore: IGLC, 2001.

ALVES, T. **Diretrizes para a Gestão dos Fluxos Físicos em Canteiros de Obras: Proposta Baseada em Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ANTUNES JR., J. A. V. **Em Direção a Uma Teoria Geral do Processo na Administração da Produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da Teoria das Restrições e da teoria que sustenta a criação dos sistemas de produção com estoque zero.** Tese (Doutorado em Administração) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

ASSUMPÇÃO, J. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios.** Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BALLARD, G. **Lookahead planning: the missing link in production control.** In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 5, 1997, Australia. **Proceedings...** . Australia: Iglc, 1997.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control.** Ph.D. Tesis. School of Civil Engineering. Faculty of Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BALLARD, G. *et al.* **Production System Design in Construction.** In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9, 2001, Singapore. **Proceedings...** . Singapore: Iglc, 2001.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Toward Construction JIT.** Proc. 1995 ARCOM Conference, Association of Researchers in Construction Management, Sheffield, England, 1995.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Implementing lean construction: stabilizing work flow.** In: ALARCÓN, L. (Ed.). *Lean construction.* Rotterdam: A.A. Balkema, 1997, p. 101-110.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding production: an essential step in production control.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 124, n 1, p. 11-17, jan-feb. 1998.

BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. **Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication.** *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 10, n. 1, p. 6-14, 2003.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção.** Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BERNHOLD, L. **Simulation of Nonsteady Construction Processes.** Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, v. 115, n. 2, p. 163-178, 1989.

BIRREL, G. **Construction Planning: beyond the critical path.** Journal of the Construction Division, New York, v.106, n.3, p. 389-407, set. 1980.

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

CODINHOTO, R. **Diretrizes para o planejamento integrado dos processos de projeto e produção na construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COHENCA ZALL, D. *et al.* **Process of planning during construction.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 120, n. 3, p. 561-578, sep. 1994.

DICK, B. **You want to do an action research thesis?.** Interchange, v. 2, n. 6, 1992.

EDEN, C.; HUXHAM, C. **Action research for management research.** British Journal of Management, v. 7, p. 75-86, 1996.

FANIRAN, O.; OLUWOYE, J.; LENARD, D. **Application of the lean production concept to improving the construction planning process.** In: ANNUAL CONFERENCE ON LEAN CONSTRUCTION, 5., 1997, Gold Coast, Australia. Proceedings...Gold Coast: Griffith University, 1997. p. 39-51.

FORMOSO, C. T. **Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects.** Salford: University of Salford - Departament of Quantity and Building Surveying, 1991. Tese de Doutorado.

FORMOSO, C.T. *et al.* **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras.** São Paulo: SINDUSCON/SP, 1999.

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

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção, mais do que simplesmente just-in-time.** Caxias do Sul: EDUCS, 1996.

HOPP, W.; SPEARMAN, M. **Factory Physics: foundation of manufacturing management.** Boston: McGraw-Hill, 1996.

HOWELL, G. A.; BALLARD, H. G. **Managing Uncertainty in the Piping Process.** Construction Industry Institute, University of Texas, Austin, p 103, sep. 1996.

HOWELL, G. A.; LAUFER, A.; BALLARD, H.G. **Uncertainty and Project Objectives.** Project Appraisal, v. 8, n. 1, 1993.

ISATTO, E. *et al.* **Lean Construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil.** Porto Alegre: SEBRAE-RS, 2000.

JÄRVINEN P. **Action Research is Similar to Design Science.** Department of Computer Sciences, University of Tampere, Finland, 2007.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction.** Stanford: Stanford University, Technical Report, n 72, 1992.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction.** Espoo, Finlândia: VTT, 408, 2000.

LAFRAIA, J. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.** Qualitymark R. Janeiro, 2001.

LAUFER, A. *et al.* **The Multiplicity Concept in Construction Project Planning.** Construction Management and Economics, London, n. 1, p. 53-65, 1994.

LAUFER, A.; HOWELL, G. A.; ROSENFELD, Y. **Three modes of short-term construction planning.** Construction Management and Economics, London, 1992.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. **Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process.** Construction management and economics, London, 1987.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L. **Competence and timing dilemma in construction planning.** Construction Management and Economics, London, n. 6, p. 339-355, 1988.

LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). **Léxico Lean.** Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean. Tradução de Lean Institute Brasil. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.

LEMNA, G.; BORCHERDING, J.; TUCKER, R. **Productive Foremen in Industrial Construction.** J. Construction Management and Economics, ASCE, v. 112, n. 2, p. 192-210, 1986.

LEWIN, K. **Action Research and minority problems.** Journal of Social Issues, v. 2, p. 34-46, 1946.

LIKER, J. K. **The Toyota Way.** McGraw-Hill, 2004.

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação.** Porto Alegre, Bookman, 432 p, 2007.

LILLRANK, P. **The Transfer of Management Innovation from Japan**. Organisation Studies; v. 16, n. 6, p. 971-989, 1995.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. LTC, 1997.

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

RAMOS, A. W. **Controle Estatístico de Processos (CEP) para Processos Contínuos e em Bateladas**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. 1 ed. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SACKS, R.; AKINCI, B.; ERGEN, E. **“3D Modeling and Real-Time Monitoring In Support of Lean Production of Engineered-To-Order Precast Concrete Buildings.”** International Group for Lean Construction 2003, July, 2003, Virginia Tech, VA, 2003.

SCHMENNER, R.W. **Production/Operations Management**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 825 p, 1993.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2004.

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

SHIMOKAWA, K.; FUJIMOTO, T. **O Nascimento do Lean: Conversas com Taiichi Ohno, Eji Toyoda e outras pessoas que deram forma ao modelo Toyota de gestão**. Porto Alegre: Bookman, 296p, 2011.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 291p, 1996.

SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. **Planejamento e Medição para a Performance**. Rio de Janeiro, Qualitymark Editora, 1993.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K. **Decoding the DNA of the Toyota Production System**. **Harvard Business Review**. p. 97-106, sep-oct. 1999.

SUSMAN, G. I.; EVERED, R. D. **An assessment of the scientific merits of action research**. **Administrative Science Quarterly**, v.23, p. 582-603, dec. 1978.

THIOLLENT, M. **Metodologia da Pesquisa- Ação**. 14ed. São Paulo: Cortez Editora, 2005.

TOMMELEIN, I. **Pull-driven scheduling for pipe-pool installation: Simulation of a lean construction technique.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 124, n. 4, p. 279-288, jul-aug, 1998.

TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. **Lookahead Planning: screening and pulling.** In: Seminário internacional Sobre Lean Construction, 1997, São Paulo. Anais... São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, 1997.

TOMMELEIN, I.; WEISSENBERGER, M. **More just-in-time: location of buffers in structural steel supply and construction processes.** In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 7., 1999, University of California, Berkeley, CA, USA. Proceedings... Berkeley: IGLC, 1999.

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, UK, v. 41, n. 2, p. 219-246, mar. 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo.** Rio de Janeiro: Campus, 347p, 1992.

WOMACK, J. P.; JONES D. T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** Tradução de Ana Beatriz Rodrigues e Priscila Martins Celeste. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1996.