



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALLAN DIEGO LOPES

**USO DO PROJETO DA PRODUÇÃO PARA A
PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS CONSTRUTIVOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Londrina
2016



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**



ALLAN DIEGO LOPES

**USO DO PROJETO DA PRODUÇÃO PARA A PADRONIZAÇÃO DE
PROCESSOS CONSTRUTIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

LONDRINA

2016

ALLAN DIEGO LOPES

**USO DO PROJETO DA PRODUÇÃO PARA A
PADRONIZAÇÃO DE PROCESSOS CONSTRUTIVOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento.

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Aranha Saffaro.

Londrina
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

L864u Lopes, Allan Diego.
 Uso do projeto da produção para a padronização de processos construtivos na construção civil / Allan Diego Lopes. - Londrina, 2016.
 168 f.: il.

 Orientador: Fernanda Aranha Saffaro.
 Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Edificações e Saneamento, 2016.
 Inclui bibliografia.

 1. Planejamento da produção - Teses. 2. Construção civil - Teses. I. Saffaro, Fernanda Aranha. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Edificações e Saneamento. III. Título.

CDU 69

ALLAN DIEGO LOPES

**USO DO PROJETO DA PRODUÇÃO PARA A PADRONIZAÇÃO DE
PROCESSOS CONSTRUTIVOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dra. Fernanda Aranha Saffaro
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Ercília Hitomi Hirota
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Eduardo Luis Isatto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul -
UFRGS

Londrina, 01 de julho de 2016.

Dedico este trabalho àquelas pessoas que me apoiaram nos momentos mais importantes de minha vida:

Aos meus pais, Antenor e Dione, por serem meus maiores exemplos de coragem e trabalho.

Às minhas irmãs Luciana e Lucimeire, por me acompanharem de perto em cada desafio.

Ao amor da minha vida, Walquiria, por estar comigo, incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela inspiração e força ao longo da realização do mestrado.

Ao CNPq pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa em tema correlato ao projeto intitulado *Implementação de padrões para o processo de produção na construção civil* (Processo 446451/2014-2).

À Professora Dra. Fernanda Aranha Saffaro por me proporcionar esse crescimento profissional e pessoal. Agradeço pela paciência e dedicação durante sua orientação.

Aos Professores Dra. Ercília Hitomi Hirota e Dr. Eduardo Luis Isatto pelos questionamentos que contribuíram para a construção desse trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade, seriedade e qualidade, traduzidas nos seus professores e funcionários.

À empresa que abriu seu canteiro de obra para a realização dos estudos, assim como ao engenheiro e equipe que me receberam e auxiliaram ao longo da pesquisa.

Aos amigos, pelo tempo gasto me deixando explicar do que se tratava meu trabalho e pela torcida para que eu terminasse logo o mestrado.

À minha esposa Walquiria que me apoiou e motivou ao longo desta importante fase de minha vida, agradeço pelo carinho e pela paciência durante todas as etapas deste trabalho.

À minha família que me manteve no foco ao longo de todo o percurso e me faz buscar sempre maiores desafios.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar.

LOPES, Allan Diego. **Uso do projeto da produção para a padronização de processos construtivos na construção civil**. 2016. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2016.

RESUMO

O baixo desempenho da indústria da construção civil é atribuído, em parte, ao baixo nível de industrialização, levando a uma produtividade altamente variável. A bibliografia apresenta a padronização como uma forma de reduzir a variabilidade dos sistemas produtivos na construção civil. Pesquisas realizadas pelo grupo de estudos da Gestão da Produção do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina têm aprofundado o entendimento relativo aos elementos para se estabelecer um padrão dos processos construtivos no ambiente produtivo da construção civil. A presente pesquisa tem como objetivo apresentar um conjunto de orientações a ser adotado na elaboração e implementação do projeto da produção na construção civil. A eficácia na implementação deste projeto deve proporcionar uma padronização do processo construtivo. A pesquisa foi dividida em quatro etapas. A primeira foi uma pesquisa bibliográfica sobre os principais conceitos envolvidos. Na segunda etapa, definida como compreensão, foi conduzido um acompanhamento inicial da produção da etapa de estrutura de um empreendimento de múltiplos pavimentos em construção na cidade de Londrina. Esse acompanhamento teve como propósito entender a aplicação os elementos conceituais encontrados na bibliografia. A partir desse entendimento, foi estabelecida uma proposição com implicações importantes na forma de conduzir a elaboração e implementação do projeto da produção. A terceira etapa compreendeu o desenvolvimento e a implementação do projeto da produção da etapa de estruturas do mesmo empreendimento onde foi realizado o acompanhamento inicial. Nessa etapa, foram analisadas a proposição estabelecida e as implicações dela decorrente. Ao final deste acompanhamento, foi proposto um conjunto de orientações voltado à elaboração do projeto da produção. Os resultados apontam algumas especificações ainda não extensivamente exploradas nesta pesquisa e que merecem investigações aprofundadas com o propósito de consolidar um modelo para a elaboração e implementação do projeto da produção. A especificação parcial dos elementos propostos na literatura para a composição de um padrão pode levar à estabilização da produção e favorecer a especificação dos demais elementos. Assim, conclui-se que a padronização deve ser evolutiva no sentido de permitir a estabilização da produção e a redução de perdas ao longo de ciclos de especificações e implementações.

Palavras-chave: Padronização. Projeto da produção. Estabilização da produção.

LOPES, Allan Diego. **The use of the production design for the standardization of construction processes in construction.** 2016. 168 p. Dissertation (Master's Degree in Construction and Sanitation Engineering) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2016.

ABSTRACT

The low performance of the construction industry is partially attributed to the low level of industrialization, leading to highly variable productivity. The bibliography presents standardization as a way to reduce the variability of production process in construction. Researches conducted by the Management Group of post-graduation in Construction and Sanitation Engineering of the State University of Londrina have been focusing on the knowledge of the elements that comprise a standard of constructive processes in the productive ambience of construction. This research aims to present a set of considerations that should be adopted for the elaboration and implementation of the production design in construction. The effectiveness in the implementation of the production design should provide the standardization of this constructive process. The research was divided into four stages. The first was a literature review on the main concepts involved. In the second one, defined as a comprehension stage, an initial monitoring was conducted on the production process of the structure phase of a multi-storey building at Londrina/PR (Brazil). This monitoring aimed to understand the conceptual elements found in the bibliography. Based on this understanding, a proposition was established with important implications in the formulation and implementation of the production design. The third stage comprises the formulation and implementation of the production design for the structural phase at the same building which was carried out the initial monitoring. At this stage the proposition previously established and its implications were analysed. At the end of this stage, a set of considerations was proposed aimed to guide the formulation of the production design. The results pointed out some considerations that were not explored in this study and, which deserve further investigations in order to consolidate a model for the formulation and implementation of the production design. The partial specification of the standard elements proposed in the literature can lead to stabilization of the production and facilitate the specification of the other elements. These results indicate that standardization should be progressive in a sense to allow the production stabilization and the reduction of waste throughout the cycles of specifications and implementations.

Keywords: Standardization. Production design. Production stabilization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Partes do sistema de produção	24
Figura 2 –	Mecanismo da Função Produção.	31
Figura 3 –	Processos e operações em um diagrama de linha de balanço	33
Figura 4 –	Sistema de entrega de empreendimentos enxutos (BALLARD, 2000)	45
Figura 5 –	Modelo para elaboração do projeto do sistema de produção.....	47
Figura 6 –	Classificação dos padrões técnicos	50
Figura 7–	Elementos do padrão na construção civil Fazinga (2012)	52
Figura 8 –	<i>Takt-time</i> , Tempo de ciclo e Tempo de atravessamento	56
Figura 9 –	Esboço do modelo para elaboração do projeto da produção.....	59
Figura 10 –	Condução da <i>Design Science Research</i>	63
Figura 11 –	Delineamento da pesquisa.....	66
Figura 12 –	Formulário para coleta de dados de acompanhamento da produção	73
Figura 13 –	Perspectiva Empreendimento do Estudo de caso.....	76
Figura 14 –	Planta do pavimento tipo	77
Figura 15 –	Projeto do Canteiro Nível subsolo	78
Figura 16 –	Projeto do canteiro no pavimento de lazer.....	79
Figura 17 –	Projeto do Canteiro Nível térreo	80
Figura 18 –	Linha de balanço da etapa da estrutura do empreendimento 1	81
Figura 19 –	Estoque de pré-vigas	83
Figura 20 –	Estoque de armaduras	84
Figura 21 –	<i>Layout</i> do 10º dia do ciclo do pavimento térreo.	86
Figura 22 –	Distribuição de mão de obra na execução da estrutura do pavimento térreo	87
Figura 23–	Principais recursos por atividade	88
Figura 24–	Principais meios de transporte	89
Figura 25 –	Lotes de transporte.....	90
Figura 26 –	<i>Layout</i> da área de trabalho	91
Figura 27 –	Posicionamento formas dos pilares.....	93
Figura 28 –	Montagem de formas <i>in loco</i>	93
Figura 29 –	Fase preliminar para elaboração do projeto da produção.	97
Figura 30 –	Delineamento inicial para elaboração do projeto da produção.....	99

Figura 31 –	Relação entre as restrições, metas e as informações levantadas.....	103
Figura 32 –	Pacotes de trabalho dos pilares	105
Figura 33 –	Pacotes de trabalho pré–vigas.....	106
Figura 34 –	Pacotes de trabalho das lajes.....	106
Figura 35 –	Comparativo do ciclo referente ao tamanho dos lotes	107
Figura 36 –	Equipes para a execução dos PTs	108
Figura 37 –	Divisão da concretagem da laje	109
Figura 38 –	Primeira versão do ciclo.....	110
Figura 39 –	Sobreposição das atividades dos pavimentos	111
Figura 40 –	Tempo de atravessamento e tempo de ciclo	111
Figura 41 –	Relação das informações, meta e restrições com as especificações básicas	112
Figura 42 –	<i>Layout</i> das atividades concluídas no terceiro dia do ciclo.....	114
Figura 43 –	Montagem das pré–vigas sobre os pilares PF2, PF3, PF10, PF11.....	115
Figura 44 –	Relação entre informações, restrições e as especificações básicas indicadas na primeira implementação da produção	117
Figura 45 –	Revisão dos pacotes de trabalho dos pilares	118
Figura 46 –	Divisão dos pacotes de trabalho das atividades das pré–vigas e das lajes.....	119
Figura 47 –	Segunda versão do ciclo.....	119
Figura 48 –	Alterações feitas no ciclo	120
Figura 49 –	<i>Layout</i> sexto dia do ciclo do 2º Pavimento.....	121
Figura 50 –	<i>Layout</i> do pavimento na execução do assoalho e colocação de cubetas no 8º dia do ciclo	122
Figura 51 –	Equipes prevista x real	123
Figura 52 –	Cronograma do ciclo Previsto x Realizado.....	123
Figura 53 –	Trechos a serem executados em pré–lajes	124
Figura 54 –	<i>Layout</i> 2º dia do ciclo	126
Figura 55 –	<i>Layout</i> 6º dia do ciclo	127
Figura 56 –	<i>Layout</i> 3º dia do ciclo	129
Figura 57 –	Execução dos primeiros pavimentos da estrutura	130
Figura 58 –	Distribuição de mão de obra nas atividades do 4º Pavimento	131
Figura 59 –	Ciclo Real.....	133
Figura 60 –	Situações de transporte e disponibilização inadequadas de recursos.....	134

Figura 61 –	Situações de risco.....	134
Figura 62 –	Subutilização da grua.....	135
Figura 63 –	Disponibilização inadequada de recursos	135
Figura 64 –	Especificações complementares do método.....	137
Figura 65–	Quantidade de recursos por atividade	138
Figura 66 –	Lotes de transporte da armação dos pilares	140
Figura 67 –	Transporte das pré–vigas	141
Figura 68 –	Transporte de escoras.....	142
Figura 69 –	Caixa metálica utilizada no transporte de cubetas	142
Figura 70 –	Caixa metálica para transporte de recursos.....	143
Figura 71 –	Comparativo da quantidade de escoras por lote	144
Figura 72 –	<i>Layout</i> armazenagem lotes de transporte de armação.....	145
Figura 73 –	Fixação da caixa metálica na lateral da estrutura.....	145
Figura 74 –	Solução para transporte de recursos com a grua nos pavimentos inferiores	146
Figura 75 –	Posicionamento de várias caixas metálicas na estrutura.....	147
Figura 76 –	Comparação do pavimento atual x uso da caixa metálica	148
Figura 77 –	Exemplo de programação da grua.....	149
Figura 78 –	Relações das especificações complementares	150
Figura 79 –	Situação de sobrecarga da grua.....	152
Figura 80 –	Delineamento para elaboração do projeto da produção.....	154
Figura 81 –	Datas de concretagem dos pavimentos	155
Figura 82 –	Análise PPC da estrutura dos pavimentos acompanhados pelo pesquisador	157
Figura 83 –	Interface entre Planejamento e o Projeto da produção.....	159

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Protocolo de coleta de dados para o acompanhamento inicial	67
Quadro 2 – Protocolo de coleta de dados para o estudo de caso	69
Quadro 3 – Variáveis e fontes de evidências utilizadas no estudo de caso	74
Quadro 4 – Processo construtivo da estrutura do empreendimento 1	85

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil
PIB	Produto Interno Bruto
STP	Sistema Toyota de Produção
PPGEES/UEL	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina
LT	<i>Lead Time</i>
MFP	Mecanismo da Função Produção
KC	<i>kit completo</i>
JIT	<i>Just in Time</i>
LPDS	<i>Lean Project Delivery System</i>
PSP	Projeto do Sistema de Produção
FRS	<i>First Run Study</i>
EHIS	Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PT	Pacote de Trabalho
PPC	Percentual de Planos Completos

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	CONTEXTO	14
1.2.	PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.3.	QUESTÕES DE PESQUISA	18
1.4.	OBJETIVOS	19
1.5.	SÍNTESE DO MÉTODO DE PESQUISA	19
1.6.	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	21
1.7.	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2.	SISTEMAS DE PRODUÇÃO	23
2.1.	CONCEITO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO	23
2.1.1.	Sistemas de Produção Por Empreendimento	25
2.2.	SISTEMA DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	26
2.2.1.	Impactos das Peculiaridades no Comportamento do Sistema de Produção da Construção Civil	27
2.3.	NATUREZA DA PRODUÇÃO	29
2.3.1.	A produção sob a ótica da transformação	29
2.3.2.	A Produção Sob a Ótica do MFP	30
2.3.3.	Perdas Sob a Ótica do MFP	32
2.4.	FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA VARIABILIDADE	36
2.5.	ATUAÇÕES PARA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE	38
2.5.1.	Redução da Variabilidade na Disponibilidade dos Requisitos para Execução da Tarefa.	38
2.5.2.	Redução da Variabilidade de Processamento e de Fluxo	39
2.6.	SÍNTESE	41
3.	PROJETO DA PRODUÇÃO	42
3.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	42
3.2.	A FUNÇÃO PROJETO	43
3.3.	PROJETO AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DO EMPREENDIMENTO	44
3.3.1.	Projeto do Sistema de Produção	46
3.4.	PESQUISAS ANTERIORES RELACIONADAS AO PROJETO DA PRODUÇÃO	52

3.5.	SÍNTESE	59
4.	MÉTODO DE PESQUISA	61
4.1.	ABORDAGEM METODOLÓGICA	61
4.2.	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	64
4.3.	DELINEAMENTO	65
4.3.1.	Identificação do problema	65
4.3.2.	Definição dos resultados esperados.....	68
4.3.3.	Projeto e desenvolvimento, demonstração e avaliação	69
4.3.4.	Comunicação	70
4.4.	FONTES DE EVIDÊNCIA.....	71
4.4.1.	Análise de documentos:.....	71
4.4.2.	Entrevistas	72
4.4.3.	Observação direta	72
4.4.4.	Registro de imagens	74
5.	RESULTADOS DA PESQUISA	75
5.1.	ACOMPANHAMENTO INICIAL	75
5.1.1.	Contexto da pesquisa.....	75
5.1.2.	Condições para a operacionalização das diretrizes encontradas na bibliografia... ..	81
5.1.3.	Análise dos resultados obtidos no acompanhamento inicial	94
5.1.4.	Delineamento inicial do para elaboração do projeto da produção	95
5.2.	ESTUDO DE CASO	100
5.2.1.	Fase preliminar	100
5.2.2.	Especificações	100
5.2.1.	Contribuições da implementação do projeto da produção	155
5.2.2.	Considerações finais sobre o estudo de caso.....	157
6.	CONCLUSÃO	159
6.1.	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	163
	REFERÊNCIAS	164

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

A indústria da construção civil representa um importante setor da economia brasileira. Segundo dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil (CBIC), esse setor representa aproximadamente 6% de todo Produto Interno Bruto (PIB) do país (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2016).

No entanto, essa indústria é caracterizada como atrasada e ineficiente. Esse desempenho tem sido atribuído ao baixo nível de industrialização, decorrente da produção artesanal, com produtividade altamente variável e grande desperdício de materiais. Além disso, estudos apontam que a ineficiência na gestão dos empreendimentos também tem grande contribuição para esse cenário (SAURIN; FORMOSO, 2006).

Para mudar isso, o setor da construção civil tem procurado adaptar conceitos e ferramentas de gestão aplicados na indústria da manufatura. Os conceitos e os princípios utilizados pela Toyota compõem uma filosofia de gestão referenciada como Produção Enxuta ou Sistema Toyota de Produção (STP). Essa filosofia tem sido empregada como referencial teórico para diversas pesquisas da construção civil.

A principal contribuição do STP para a gestão da produção na construção civil é o novo entendimento de como ocorre a produção, evidenciando etapas do processo antes desprezadas pelo modelo tradicional. O entendimento dessas etapas possibilita a gestão da produção com maiores chances de sucesso. Essa nova representação permite entender os efeitos prejudiciais da variabilidade e evidencia a necessidade de ações para mitigar esses efeitos. Dentre as formas de controlar a variabilidade, destaca-se a padronização do processo de produção. O objetivo da padronização é reduzir a variabilidade, fazendo com que os insumos sejam processados sempre da mesma maneira, o que possibilita atender sistematicamente o processo seguinte dentro das exigências relativas a prazo, custo e qualidade, além de gerar valor para o cliente final.

O controle e a melhoria do processo tornam-se possíveis, uma vez que os resultados do processo são mensuráveis e as razões dos desvios podem ser identificadas (IMAI, 2005).

Diante da importância da padronização para a gestão da produção, em especial para a estabilização de processos em ambientes de alta incerteza como o da construção civil, o grupo de Gestão da Produção do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina (PPGEES/UEL) tem desenvolvido pesquisas com o propósito de compreender quais as particularidades da padronização na construção civil e de formular modelos que contribuam para sua implementação neste setor.

Inicialmente, Saffaro, Silva e Hirota (2008) constataram que, nas quatro empresas certificadas nível A participantes de um diagnóstico, a padronização era entendida como uma forma fixa de execução das tarefas e a melhoria era inexistente. Porém, a principal deficiência identificada neste diagnóstico foi a falta de entendimento de qual deve ser o conteúdo da especificação do processo de produção no contexto da construção civil.

Por esta razão, Fazinga (2012) iniciou a série de pesquisas no Grupo de Gestão do ENGES/UEL, investigando as particularidades da padronização na construção civil. A referida autora identificou os elementos do padrão para este contexto. A especificação desses elementos, segundo a autora, busca estabelecer os padrões para a produção, contribuindo, assim, para a estabilidade nos processos de produção na construção civil.

Dando sequência às pesquisas no tema dentro do Grupo de Gestão do ENGES/UEL, o trabalho de Kremer (2016) buscou especificar os elementos levantados por Fazinga como integrantes do padrão. Esse processo de especificação detalhada dos elementos que descrevem como uma determinada tarefa será executada, em período próximo ao seu início, é denominado por Ballard e Howell (1997) de projeto da operação (*operation design*). Para esses autores, o projeto da operação constitui-se o primeiro passo para se estabelecer um padrão, uma vez que as especificações são colocadas em prática, em caráter experimental, analisadas nas unidades de repetições

iniciais e redesenhadas até que um conjunto de especificações seja satisfatório e entendido com o padrão.

Os estudos de Fazinga (2012) apontaram que o foco das especificações não está restrito às operações da mão de obra e das máquinas, mas também à disposição dos recursos e à manutenção de estoques pequenos de trabalho em progresso entre as frentes de trabalho. Kremer (2016) denomina este conjunto de especificações de “projeto da produção”.

Esta pesquisa desenvolvida por Kremer (2016), em parceria com a empresa, tinha a intenção de: (a) capacitar a empresa para implementar o projeto da produção de forma a estabilizar a produção nos ciclos iniciais de atividades repetitivas; e (b) trazer como contribuição teórica, um conjunto de diretrizes para elaborar este projeto, dado o grande número de elementos identificados por Fazinga (2012) e a interdependência mútua na especificação dos mesmos.

Os resultados dos estudos de Kremer (2016) apontaram algumas lacunas que direcionaram a condução da presente pesquisa. Estas lacunas são descritas no tópico a seguir.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Tradicionalmente, na construção civil, não é dada a devida importância ao projeto da produção. Na prática, entende-se que os processos produtivos são únicos e devem ser definidos no momento da execução, baseados na experiência e julgamento do engenheiro responsável pela execução (HALPIN; WOODHEAD, 1976).

Para Koskela (1999), na construção civil, ocorre, com frequência, o início de uma determinada tarefa sem que todos os requisitos para realizá-la sejam atendidos. O referido autor justifica que essa situação decorre, principalmente, dos seguintes fatores: (a) grande quantidade de requisitos para iniciar a tarefa sujeita à variabilidade; (b) interferência entre os requisitos, causando uma configuração mutante na disponibilidade de cada requisito, potencializando a probabilidade de falhas no fluxo de alimentação da tarefa. Acrescenta-se, também, como terceiro fator, o fato de o sistema de produção da

construção civil se desenvolver mediante a mobilidade das equipes e dos recursos para execução das tarefas nas diferentes partes do produto. Estes três fatores combinados e as peculiaridades do sistema de produção da construção civil, tais como produto único, produção sob intempérie e organizações temporárias, levam a produção a ocorrer em caráter de protótipo e, segundo Koskela (2000), são potencializadas as chances de falhas na disponibilidade de requisitos para executar a tarefa. Para Koskela (2000), o projeto do sistema de produção (PSP) é a forma mais básica de reduzir a variabilidade decorrente das particularidades da construção civil. Segundo Schramm (2009), para desenvolver o PSP deve-se considerar os fatores que caracterizam a natureza dos sistemas de produção e que contribuem para o aumento de sua complexidade, como variabilidade, incerteza, interdependência e a interconectividade. Para lidar com a interdependência mútua e complexidade dos sistemas de produção na construção civil, Schramm (2009) propõe o uso de recursos computacionais para simular o comportamento do sistema de produção durante a elaboração do projeto desse sistema.

Essas ocorrências foram constatadas, também nos estudos de Fazinga (2012) e, em virtude disso, grande parte dos elementos destacados pela autora para integrar o padrão no contexto da construção civil estava associada à disponibilização adequada de condições para execução da tarefa. O maior obstáculo observado por Kremer (2016), ao elaborar o projeto da produção, era a interdependência entre as especificações dos elementos propostos por Fazinga (2012), especialmente aqueles relativos à disponibilidade dos recursos para cada pacote de trabalho no tempo e no espaço. Esta situação ocorria, principalmente, em virtude da dificuldade encontrada pela equipe de produção para dimensionar o volume de trabalho a ser distribuído ao longo de cada dia do ciclo da atividade (pacotes de trabalho).

No estudo de Kremer (2016) foram apresentadas diretrizes para elaboração do projeto da produção. As principais diretrizes propostas pelo autor estão voltadas a evitar retrabalho e reduzir o tempo despendido para a elaboração do projeto, porém não houve uma organização dessas diretrizes com o propósito de consolidar um modelo.

Entende-se que um modelo para elaboração do projeto da produção deve representar como ocorre este processo, explicitando não apenas a sequência em que os

elementos do padrão devem ser especificados, mas, também, as relações entre essas especificações.

Já no trabalho de Kremer (2016), observou-se que a falta de um modelo a ser empregado para elaboração do projeto da produção contribuía, de certa forma, para o tempo excessivo gasto nesta tarefa. Como consequência, havia maior dificuldade em atingir os propósitos das pesquisas, tanto no que diz respeito ao interesse da empresa (estabilizar a produção nos ciclos de repetição iniciais) quanto dos pesquisadores (avanço no entendimento de como atingir padrões eficazes a partir do projeto da produção).

1.3. QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no problema de pesquisa apresentado, foi definida a questão geral de pesquisa para esse trabalho:

“Como elaborar o projeto da produção para atividades da construção civil?”

Para auxiliar no entendimento de conceitos encontrados na bibliografia foi realizado um acompanhamento inicial da produção da etapa estrutura de um empreendimento multipavimentado que possibilitou um melhor entendimento do problema de pesquisa. A partir da revisão bibliográfica e do acompanhamento inicial da produção, foi possível identificar uma inter-relação entre os elementos do projeto da produção. Assim, alterações na especificação de um elemento levariam a alterações nas especificações dos demais elementos.

A partir da revisão da bibliografia e do acompanhamento inicial da produção foi elaborada a seguinte proposição: *A elaboração do projeto da produção deve ocorrer em etapas. Devem ser especificados, primeiramente, os elementos considerados básicos, em princípio, relacionados à especificação dos PTs e sua distribuição no ciclo e, após a consolidação destes, os demais elementos poderão ser especificados.*

A proposição estabelecida leva a questões complementares a primeira delas é: *Quais os elementos devem ser especificados inicialmente e quais podem ser*

especificados posteriormente? A não especificação de alguns elementos, segundo a bibliografia, gera variabilidade nos elementos já especificados. Essa situação gera um questionamento complementar: Como lidar com a variabilidade decorrente da não especificação de determinados elementos na versão inicial do projeto?

1.4. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho consiste em apresentar um conjunto de orientações e procedimentos a serem adotados na elaboração do projeto da produção e na sua implementação para que padrões na produção sejam estabelecidos. Os objetivos específicos são:

- a) Definir quais os procedimentos para a especificação dos elementos do projeto da produção;
- b) Identificar quais os elementos básicos que devem ser especificados primeiramente e quais podem ser especificados posteriormente.
- c) Identificar as relações entre os elementos que devem ser especificados no projeto da produção;
- d) Avaliar a aplicabilidade das diretrizes encontradas na bibliografia para a elaboração e implementação do projeto da produção;

1.5. SÍNTESE DO MÉTODO DE PESQUISA

A abordagem de pesquisa empregada no desenvolvimento desta dissertação foi o *Design Science Research*. Essa abordagem operacionaliza e fundamenta a condução da pesquisa quando o objetivo a ser alcançado é a definição de um artefato. Estes artefatos são construídos para solucionar problemas e transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis (MARCH; SMITH, 1995).

Dresh, Lacerda e Antunes Jr (2015) mencionam quatro tipos de artefatos citados por March e Smith (1995): constructos, modelos, métodos e instanciação. Este último

corresponde ao tipo de artefato da presente pesquisa. Dresh, Lacerda e Antunes Jr (2015) descrevem instanciação como “um conjunto coerente de regras que orientam a utilização de artefatos (constructos, modelos e métodos) em um determinado ambiente real”. Os referidos autores complementam que a instanciação são os artefatos resultantes da operacionalização de outros artefatos.

O artefato aqui consiste em um conjunto de orientações e procedimentos a serem adotados na elaboração do projeto da produção e na sua implementação para que padrões sejam atingidos. Este conjunto de orientações e procedimentos foi estabelecido a partir da implementação das diretrizes propostas por Kremer na elaboração do projeto da produção e das investigações relativas às lacunas que ainda persistiam e que têm implicações na construção de um modelo, embora este não tenha sido integralmente definido.

O artefato foi construído a partir de dois estudos cujos propósitos e as formas de condução estão descritos no capítulo quatro. Aqui cabe dizer que o primeiro estudo teve um caráter de compreensão, permitindo entender o contexto da empresa e da própria construção civil com impactos no comportamento dos elementos abstraídos por Fazinga (2012) e, principalmente, as condições para operacionalizar as diretrizes propostas por Kremer (2016). A partir das análises desse estudo, foi estabelecida uma proposição que norteou a forma como este pesquisador conduziu o exercício de elaboração do projeto da produção e a coleta de dados no estudo empírico. Com base nos resultados desses estudos, foi consolidado o conjunto de orientações e procedimentos propostos nesta pesquisa.

No que se refere ao entendimento do contexto, alguns aspectos podem ter repercussão nos resultados aqui apresentados e, por essa razão, são destacados no tópico a seguir.

1.6. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

As delimitações desse trabalho estão relacionadas ao contexto no qual foram desenvolvidos os estudos. Inicialmente, observa-se que os resultados desta pesquisa são apropriados para o projeto da produção de atividades repetitivas, uma vez que o acompanhamento inicial apontou que as especificações dos elementos que compõem o padrão devem ocorrer de forma gradual e devem ser refinadas ao longo dos ciclos iniciais de repetição.

Outro aspecto com provável repercussão nos resultados está associado às características da etapa do processo de produção escolhida como objeto de estudo nesta pesquisa. Trata-se da etapa estrutura de concreto armado em edifícios multipavimentados. As características dessa etapa são: (a) interação de diversas equipes: de forma, armação e concretagem; (b) alta variedade de recursos, por exemplo, formas e seus dispositivos de montagem (tensores, borboletas), cubetas plásticas, escoras, chapas de compensado, aço e concreto. Tais aspectos tendem a aumentar o grau de dificuldade da tarefa de elaboração do projeto da produção em função, principalmente, da já citada interdependência mútua na especificação dos elementos do padrão, e pode ter determinado particularidades do artefato (conjunto de orientações e procedimentos) aqui proposto.

Com isso, os resultados obtidos estão relacionados a etapas construtivas cujo processo de produção apresenta repetitividade e alta complexidade devido à alta interação entre equipes diferentes e uma grande variedade de insumos. Há necessidade de analisar os resultados aqui obtidos em outras etapas construtivas menos complexas, tais como alvenaria e revestimento cerâmico em pisos e paredes.

As ferramentas empregadas para a comunicação das especificações do projeto da produção e outros fatores que interferem na adesão da equipe de produção e, conseqüentemente, na eficácia da implementação do projeto não serão abordados.

1.7. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura dessa dissertação está dividida em seis capítulos. O presente capítulo apresenta o contexto da pesquisa, o problema de pesquisa, os objetivos a serem alcançados e as delimitações do trabalho.

O capítulo dois aborda o conceito de sistema de produção. Em seguida, é caracterizado o sistema de produção por empreendimento em que se encontra a construção civil e são descritas suas peculiaridades e principais formas de gestão. Destaca-se, ainda nesse capítulo, a natureza da produção sob a ótica do Mecanismo da Função Produção como contribuição para redução de perdas na construção civil.

O capítulo três trata do escopo do projeto da produção situando-o no projeto do sistema de produção que, segundo a bibliografia, ocorre ao longo de todo o empreendimento, com ênfase no conjunto de especificações que compõem o detalhamento de uma etapa construtiva próximo ao início de sua execução.

O capítulo quatro apresenta o método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho, descrevendo a estratégia de pesquisa adotada, o delineamento da pesquisa, a descrição de suas etapas e as fontes de evidências.

No capítulo cinco, os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do acompanhamento inicial e do estudo de caso são apresentados e discutidos.

Por fim, no capítulo seis, são apresentadas as conclusões e as sugestões para futuros trabalhos.

2. SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar as principais características do sistema de produção da construção civil. Inicia-se com o conceito de sistema e, em seguida, descreve-se o sistema de produção por empreendimento, que corresponde a classificação em que se encontra a construção civil. Por fim, são apresentadas as peculiaridades do sistema de produção na construção civil e suas formas de gestão.

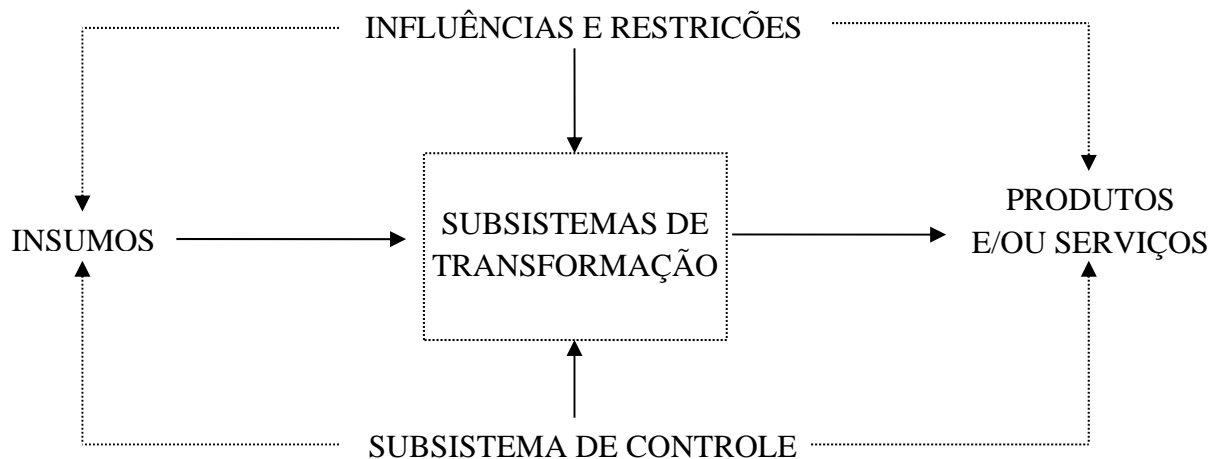
2.1. CONCEITO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO

Segundo Martins e Laugeni (2005), o conceito de sistema tem sido utilizado no desenvolvimento de várias disciplinas. Para os mesmos autores, sistema é um conjunto de partes inter-relacionadas voltadas a um objetivo comum. Nesta mesma linha, Antunes et al. (2008) mencionam que a abordagem de sistemas foca a relação entre o todo e suas partes constituintes, tendo como pressuposto central alcançar um determinado objetivo comum.

Sistema de produção, por sua vez, é definido por Askin e Goldberg (2002) como o conjunto de recursos (trabalhadores, energia, equipamentos e informação) e de procedimentos inter-relacionados voltados à conversão de matérias-primas em produtos acabados.

Moreira (2000), Meredith e Shafer (2002) complementam descrevendo que as partes que constituem um sistema de produção são os insumos (entrada), o subsistema de transformação, o subsistema de controle e os produtos ou serviços (saída). Uma representação do sistema de produção baseada na proposta dos autores é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Partes do sistema de produção



Fonte: baseado em MOREIRA (2000)

Os insumos são a matéria prima a ser transformada em produtos e, também, os recursos que permitem sua transformação, tais como a mão de obra, o capital, os equipamentos, as instalações e o conhecimento técnico.

O subsistema de transformação altera a matéria prima em produto. Esse subsistema é formado pela combinação das etapas de processamento, transporte, armazenamento e inspeção. Assim, as entradas são processadas e ganham valor, representando as saídas do sistema referenciadas como produtos e/ou serviços (MOREIRA, 2000; MEREDITH; SHAFER, 2002). Um subsistema de transformação pode se subdividir ainda em etapas com funções específicas (por exemplo: fabricação, montagem), interagindo entre si para atender o objetivo do sistema de produção como um todo.

Da mesma forma, o subsistema controle é subdividido em um conjunto de outros subsistemas que envolvem atividades voltadas para assegurar que as programações sejam cumpridas, os padrões sejam obedecidos, os recursos sejam usados de forma eficaz e a qualidade do produto final seja obtida. Portanto, o subsistema de controle monitora os três elementos do sistema de produção: os insumos, o subsistema de transformação e os produtos finais (MOREIRA, 2000). Esse monitoramento é feito mediante a coleta de informações, que visam a identificar erros ou distúrbios que tornem necessária a tomada de ações corretivas. As informações coletadas, que podem

ser analisadas em termos de qualidade, custo, quantidade, tempo, dentre outros parâmetros, devem direcionar as ações corretivas, tanto para o subsistema de transformação como para o gerenciamento de seus insumos antes de seu processamento (GAITHER; FRAZIER, 2005).

As influências e restrições são, segundo Meredith e Shafer (2002), os aspectos externos ao sistema de produção, mas que o influenciam de alguma maneira. Devido à sua influência, esses aspectos devem ser considerados, embora muitas vezes estejam fora do controle daqueles que tomam as decisões no sistema de produção. Moreira (2000) cita os quatro aspectos importantes relacionados às influências e restrições: condições econômicas do país, políticas e regulamentações governamentais, concorrência e tecnologia.

Diante dos diferentes tipos de sistema de produção, é importante classificá-los. Isso porque sistemas pertencentes a uma mesma classificação podem ser gerenciados a partir de um conjunto de técnicas similares. De acordo com Schmenner (1993¹ apud Ballard, 2005), os sistemas de produção são classificados em: (a) Sistemas de produção contínua; (b) Sistemas de produção em massa; (c) Sistemas de produção em lotes ou bateladas; (d) Sistemas de produção por *jobbing*; (e) Sistemas de produção por empreendimento². Para Ballard (2005), a construção civil se enquadra na classificação de sistemas de produção por empreendimento e, por isso, as principais características do sistema serão apresentadas a seguir.

2.1.1. Sistemas de Produção Por Empreendimento

Para Meredith e Shafer (2002), a produção por empreendimento não é repetitiva e consiste em tarefas múltiplas que ocorrem em diversas frentes de trabalhos e são extremamente interdependentes. Outra característica dessa classificação é que, geralmente, o produto é produzido no local de seu uso e a mão de obra, os equipamentos e a matéria prima são trazidos para uma área de preparação até o

¹SCHMENNER, R. W. **Production/Operations Management**, 5th ed. Prentice Hall, EnglewoodCliffs, 1993.

² Neste contexto, utiliza-se o termo *empreendimento* ao invés do termo *projeto* utilizado pelos demais autores referenciados, pois o termo projeto será utilizado nesse trabalho para referir-se ao termo *design*, que define a reunião de informações por meio de representações gráficas e textuais.

momento de sua aplicação. Esses recursos são reunidos pelo tempo de duração do empreendimento. Alguns deles são consumidos e outros, como equipamentos e mão de obra, são deslocados para outros empreendimentos (MEREDITH; SHAFER, 2002).

O sistema de produção na construção civil, foco da presente pesquisa, apresenta características específicas que influenciam no comportamento de todo o sistema. Essas características serão apresentadas a seguir.

2.2. SISTEMA DE PRODUÇÃO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A caracterização do setor da construção civil é apresentada por diversos autores, tais como, Koskela (2000), Santos (1999) e Ballard e Howell (1998). As principais peculiaridades a serem consideradas são:

- a) Produtos únicos: são projetados para atender requisitos de um único cliente. Isso gera uma sequência de atividades que não se repetirá, ou seja, o sistema de produção deve sofrer alterações de um produto para o outro (SANTOS, 1999);
- b) Organizações temporárias de produção: os agentes envolvidos e a organização do sistema produtivo são projetados e instalados para atender a finalidade de um único produto. O conjunto de agentes é composto por diferentes empresas que estão ligadas ao empreendimento por meio de modalidades contratuais distintas (KOSKELA, 2000). Essas empresas apresentam diferenças significativas, tanto no escopo como no tamanho. Assim, a disseminação de boas práticas em todo o setor é prejudicada, pois ações que apresentam bons resultados em uma determinada empresa podem não apresentar os mesmos resultados em outras (SANTOS, 1999);
- c) Empreendimentos fixos: o produto final da construção é, normalmente, grande e espacialmente fixo (SANTOS, 1999). Assim, as estações de trabalhos se deslocam ao redor do produto;

- d) Dependência do espaço de trabalho: o local onde será realizada a tarefa é considerado, na construção civil, um recurso de entrada necessário para a produção. Em determinadas tarefas, a liberação do espaço de trabalho depende de outras, que estão sujeitas a variabilidade (KOSKELA, 2000);
- e) Variação nas características dos terrenos: muitas características do terreno são incertas e não são consideradas na aquisição do terreno. Por exemplo, as condições do solo podem variar significativamente de um lugar para outro e, muitas vezes, são difíceis de determinar precisamente antes da produção real (BALLARD; HOWEL, 1998);
- f) Produção em local aberto: geralmente, a produção da edificação ocorre sob as intempéries, fazendo com que condições externas (temperatura, chuva e vento, por exemplo) interfiram diretamente na produção.

2.2.1. Impactos das Peculiaridades no Comportamento do Sistema de Produção da Construção Civil

As características apresentadas no tópico anterior conferem certo grau de complexidade aos empreendimentos da construção civil, na medida em que envolvem a execução de um grande número de tarefas interdependentes realizadas por diferentes organizações com vínculos temporários e objetivos próprios, nem sempre conhecidos, buscando atingir metas comuns. Tais características acarretam um comportamento imprevisível, ou seja, sujeito à incerteza (BERTELSEN, 2003).

Outras peculiaridades da construção civil, tais como produto único e produção sob intempérie, têm clara repercussão na ocorrência da variabilidade. Para Melles e Wamelink (1993³ apud ALVES, 2000), outros fatores contribuem para a ocorrência de variabilidade: mudanças nas especificações de projeto durante a fase de construção; baixo grau de conclusão do projeto devido a problemas técnicos ou de inconsistências nas soluções adotadas pelo mesmo; solicitações de mudanças nas fases de acabamento

³MELLES, B.; WAMELINK, J. **Production control in construction**. Netherlands: Delft University Press, 1993.

da edificação por parte dos clientes; variabilidade decorrente do fornecimento de materiais e mão de obra por parte dos fornecedores.

A presença da variabilidade, por sua vez, leva ao emprego de grandes quantidades de estoque, seja de matéria prima ou na forma de trabalho em progresso. Este último se refere à quantidade de produtos parcialmente acabados que se acumulam ao longo da linha de produção e é ocasionado por variações no volume de produção entre postos de trabalho subsequentes ou é deliberadamente utilizado com a intenção de proteger as estações de trabalhos dos efeitos da variabilidade (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Na construção civil, o trabalho em progresso consiste em serviços executados antes do momento requerido e/ou em lotes significativamente maiores do que o necessário, tendo em vista a demanda da atividade subsequente (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Essa prática, de fato, é frequentemente empregada com o propósito de evitar que a atividade subsequente seja interrompida por ocorrência de fatores associados à variabilidade, tais como produtividade variável da equipe responsável pela atividade pré-requisito, imprevisibilidade na entrega de recursos e adversidades climáticas (HOWELL; LAUFER; BALLARD, 1993). Santos (1999) menciona que grande parte do tempo de entrega dos empreendimentos da construção civil é consumida com partes do produto parcialmente prontas, aguardando para que seja dada continuidade na execução, isto é, com trabalho em progresso.

Este desempenho é compatível com a afirmação de Hopp e Spearman (1996) de que outra penalidade decorrente da presença da variabilidade, além do trabalho em progresso, é longo *lead time* (LT). O LT corresponde ao tempo de atravessamento do produto em processamento ao longo da linha de produção até sua entrega ao cliente (prazo de entrega) (HOPP; SPEARMAN, 1996).

A existência de várias frentes de trabalho iniciadas e não terminadas traz, também, a falta de transparência no processo produtivo e dificuldades para os gestores nas atividades de suprimentos, fluxos físicos de materiais, definição de *layouts* e monitoramento/controlado da produção (FORMOSO *et al.*, 2002).

Diante desse cenário, há necessidade de ações gerenciais que permitam vencer estas dificuldades. No entanto, Koskela (2000) alerta para o fato de que a efetividade das ações e ferramentas gerenciais depende do emprego de modelos que representem adequadamente a natureza da produção, especialmente os efeitos da presença da variabilidade.

2.3. NATUREZA DA PRODUÇÃO

2.3.1. A produção sob a ótica da transformação

Segundo Koskela (1992), a natureza da produção sob a ótica da transformação adota uma visão reducionista fundamentada no Taylorismo. O Taylorismo contribuiu para a gestão da produção ao propiciar uma abordagem científica para embasar as análises de desempenho e ações de melhorias na produção. No entanto, o foco era restrito aos movimentos do operário, desconsiderando o que ocorria com o objeto em produção. Dessa forma, matéria prima em estoque ou produtos semiprocessados parados entre os postos de trabalhos não eram fonte de preocupação porque não sofriam a atuação da mão de obra. Ao contrário, eram entendidos como benéficos na medida em que mantinham o operário sempre em atuação (SLACK et al., 2009). Esse modelo levou ao entendimento que a produção poderia ser representada pela soma das operações desenvolvidas pelos operários (KOSKELA, 1992).

Para Koskela (2000), os malefícios da abordagem taylorista foram entendidos na época da recessão americana, em que grande quantidade de produto passou a ficar estocada nas fábricas.

Este referencial vem sendo adotado por um longo período de tempo e é chamado modelo tradicional de representação da produção ou concepção tradicional da produção.

2.3.2. Uma nova perspectiva de entendimento (representação) do sistema de produção ocorreu a partir das ideias de Gilbreth, em 1921 (ANTUNES, 1994). Posteriormente, em 1945, Shingo difundiu esta forma de representação da produção denominada Mecanismo da Função Produção (MFP). Os princípios do Sistema Toyota de Produção (STP) fundamentam-se nessa forma de representação da produção. A Produção Sob a Ótica do MFP

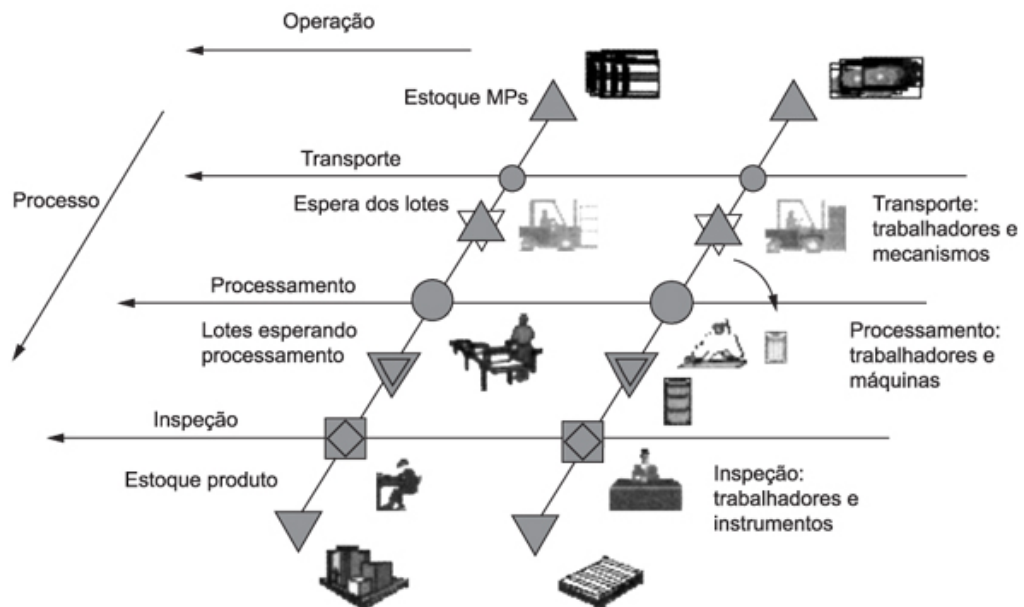
A principal ruptura conceitual possibilitada pelo MFP está associada ao reconhecimento de que a produção não pode ser representada pela somatória das operações (ALVAREZ; ANTUNES, 2001), conforme preconizado pelo modelo tradicional apresentado no tópico anterior.

O MFP consiste em visualizar os sistemas produtivos a partir de uma rede que apresenta as operações e os processos em dois eixos perpendiculares, X e Y, respectivamente (Figura 2). A partir dessa concepção, o processo é entendido como o fluxo de materiais no tempo e no espaço onde pode-se observar a evolução no desenvolvimento da matéria prima em produtos acabados (SHINGO, 1989). Segundo o mesmo autor, ao longo do fluxo de evolução da matéria prima em produto acabado, é possível identificar quatro elementos do processo:

- a) Processamento – é a atuação da mão de obra ou de máquina que promove a transformação da matéria prima em produto semiprocessado e depois em produto acabado. Koskela (1992) adotou o termo conversão e depois, em sua tese (2000), o termo transformação. Esse elemento é o mais valorizado na ótica da transformação conforme visto anteriormente;
- b) Inspeção – é a atuação da mão de obra/máquina para efetuar a comparação das matérias primas ou dos produtos semiprocessados com um padrão estabelecido;
- c) Transporte – é a atuação da mão de obra para promover a mudança de localização dos materiais;

- d) Espera – é o período de tempo no qual não ocorre qualquer atuação (processamento, inspeção ou transporte) da mão de obra/máquina.

Figura 2 – Mecanismo da Função Produção.



Fonte: Shingo (1996)

O processamento (transformação), segundo Shingo (1981), constitui-se na única atuação da mão de obra/máquina (operação) que promove uma mudança de estado na matéria prima ou no produto semiprocessado que agregue valor sob a ótica do cliente. Como exemplo de atividades que agregam valor, Antunes (1994) cita fabricação, usinagem, pintura, montagem e desmontagem de componentes.

Koskela (2000) afirma que a representação da produção, a partir do MFP, permite o entendimento de aspectos importantes que causam impactos na gestão da produção. Um aspecto se refere ao emprego do tempo como dimensão adequada de análise da produção. Embora o tempo seja valorizado como variável de análise do desempenho da produção no modelo tradicional, o enfoque é restrito à atuação da mão de obra/máquina, especialmente, às atividades de processamento (transformação).

No MFP fica evidente que as outras etapas do processo (inspeção, transporte e espera) também consomem tempo e, conforme mencionado anteriormente, segundo

Hopp e Spearman (1996), grande parcela do *lead time* se refere à espera em função da grande quantidade de estoques. Somente mediante a representação da produção a partir da perspectiva do MFP é possível entender que a espera, seja na forma de estoque de matéria prima, de produtos semiprocessados ou de produtos prontos, deve ser reduzida, uma vez que consome tempo e não agrega valor ao cliente. Sob a ótica da transformação, essa etapa da produção passa despercebida, já que não há atuação da mão de obra.

A grande quantidade de estoque, por sua vez, leva à alta incidência de atividades de transporte, aumentando ainda mais a parcela das etapas que não agregam valor ao produto em desenvolvimento (LIKER, 2007).

Essa situação é mais agravante no sistema de produção da construção civil em decorrência do emprego de grande quantidade de estoques e da necessidade de deslocamento constante das equipes e seus recursos entre os postos de trabalho. Uma vez que essas etapas do processo consomem grande parcela do *lead time*, porém não agregam valor ao produto em desenvolvimento, um importante princípio de gestão da produção consiste na eliminação ou, ao menos, na redução destas.

O princípio que preconiza a eliminação ou redução das etapas da produção que não agregam valor é o mais abrangente dos princípios do STP, citados por Koskela (2000), e leva à redução dos diversos tipos de perdas apontados por Ohno (1997). Estas perdas são destacadas no tópico a seguir.

2.3.3. Perdas Sob a Ótica do MFP

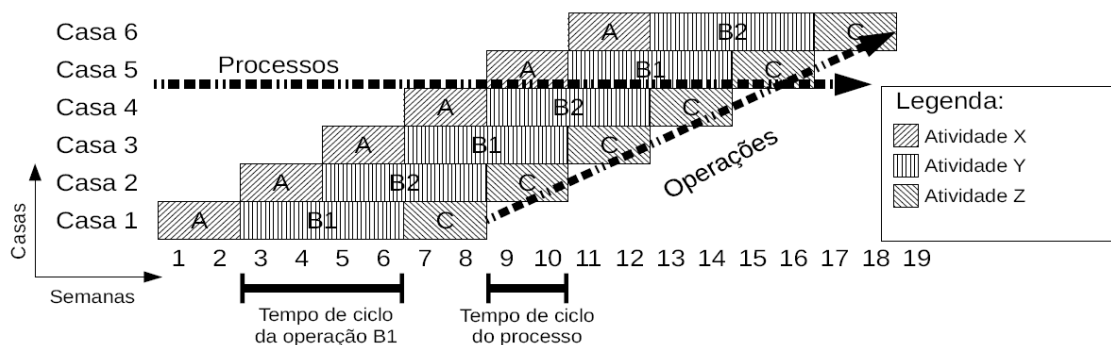
As sete perdas citadas por Ohno (1997) têm sido descritas em outros trabalhos científicos associados ao tema STP, consultados pelo autor desta pesquisa. Entre eles, podem ser destacados os trabalhos de Antunes Jr (1998), Koskela (2000), Alves (2000), Sommer (2010) e Fireman (2012). Estas perdas são: superprodução (trabalho em progresso), produtos defeituosos, transporte, processamento (parcelas do processamento que não agregam valor ao produto, como retrabalho), estoque disponível, movimentos

desnecessários dos trabalhadores e, por fim, a perda por espera (inatividade da mão de obra)⁴.

O MFP e o entendimento de Koskela (2000) de que a produção deve estar voltada a atender o valor sob a ótica do cliente contribuíram para identificar fontes de perdas anteriormente desprezadas, como, por exemplo, por estoque e por superprodução, por serem etapas do processo que consomem tempo e recursos financeiros, mas que não agregam valor ao cliente. As perdas por movimentos desnecessários e por espera já eram evidenciadas no taylorismo, uma vez que denotam ineficiência da mão de obra/máquina.

Embora a espera da mão de obra (ociosidade) já fosse objeto de atuação para melhorias no taylorismo, o entendimento da produção a partir do MFP possibilita coordenar a redução de perdas no eixo do processo e das operações. Há ferramentas que, segundo Isatto e Zuchetti (2014), permitem a análise conjunta de processos e operações. Uma dessas ferramentas é o diagrama de linha de balanço, representado na Figura 3.

Figura 3 – Processos e operações em um diagrama de linha de balanço



Fonte: Isatto e Zuchetti (2014)

⁴Lembra-se que o termo “espera”, sob a ótica do MFP, consiste em uma etapa da produção em que a matéria prima ou produto semiprocessado não sofre qualquer ação da mão de obra (transformação, inspeção ou transporte). Embora denote uma inatividade da mão de obra, destaca-se que na espera citada por Shingo (1996), o foco de análise é no fluxo do material (eixo do processo), ao passo que a perda por espera citada por Ohno (1997) está associada à inatividade da mão de obra/máquina e, portanto, tem o foco no eixo da operação. Alguns autores, tais como Ballard; Tommeleim (1999) e Liker (2007) preferem adotar o termo “estoque” para expressar o estado de espera do material no eixo do processo.

A Figura 3 ilustra um fluxo contínuo de produção (inexistência de espera no eixo do processo) e a atuação ininterrupta, ou seja, busca-se a não ociosidade da mão de obra (eixo das operações). Isatto e Zuchetti (2014) afirmam que, em processos de produção repetitivos, há necessidade de uma especificação coordenada de processos e operações.

É possível observar ainda o tempo de ciclo do processo e da operação. O tempo de ciclo da operação está relacionado aos sujeitos do trabalho: homens e máquinas. Este corresponde ao intervalo de tempo em que o sujeito do trabalho (operário ou célula) repete a mesma operação na produção de produtos consecutivos. No entanto, o tempo de ciclo do processo é empregado para expressar o tempo decorrido entre um produto e o próximo saírem do mesmo posto de trabalho, ou seja, a frequência com que um produto (na figura, uma casa) é completado por um operário ou célula ou ao fim da linha de produção (ROTHER e SHOOK, 1999; LIB, 2003). Este é função da capacidade de produção do sujeito do trabalho (operário ou célula) mais lento em toda a linha de produção. No exemplo da figura, o posto de trabalho (atividade) B é mais lento, sendo necessário trabalhar com duas equipes (B1 e B2), aumentando a capacidade de produção neste posto de trabalho, evitando, assim, trabalho em progresso da atividade A (eixo do processo) e ociosidade da equipe da atividade C (eixo das operações).

Outros eventos passíveis de serem identificados ao observar o eixo das operações (foco taylorista), tais como processamento indevido e transporte, somente serão entendidos como perdas ao compreender que nem sempre a atuação ininterrupta da mão de obra é benéfica, por exemplo, quando o recurso (mão de obra/máquina) não é empregado para entregar valor sob a ótica do cliente. A produção de produtos defeituosos potencializa os impactos em termos de não geração de valor ao cliente na medida em que, além de empregar mão de obra para produzir aquilo que não agrega valor, gera a necessidade de maior trabalho em progresso para suprir a quantidade de produtos que podem continuar na linha de produção. Por essa razão, a automação constitui-se em um dos pilares da filosofia do STP.

A automação consiste em uma medida adotada pela Toyota que associa a automação das máquinas dotadas com dispositivos *poka-yoke*⁵ à autonomia do operador ou da máquina para parar a produção quando um problema é apontado pela mesma.

⁵*Poka-Yoke* é um termo de origem japonesa que significa à prova de erro (SHINGO, 1996).

Máquinas dotadas de dispositivo *poka-yoke* buscam impedir que defeitos sejam propagados na linha de produção de forma despercebida (GHINATO, 1996). A automação oferece suporte ao controle de qualidade zero defeitos, visando à eliminação de produtos defeituosos.

Uma oitava categoria de perda, denominada de perda por *making-do*⁶, é citada por Koskela (2004). Esse tipo de perda é gerado quando se inicia a execução de uma tarefa em situações subótimas, ou seja, sem que todos os requisitos necessários sejam atendidos. Koskela (2004) classifica os requisitos necessários para execução de uma tarefa nas seguintes categorias: projeto, materiais e componentes, mão de obra, equipamentos, espaço, serviços pré-requisitos e condições externas.

Sommer (2010) propõe um modelo para identificação de perdas por *making-do* baseado nos conceitos apresentados em Ronen (1992) e Koskela (2004). Este modelo evidencia a ocorrência das perdas por improvisação devido a falhas na disponibilidade dos requisitos necessários para a execução dos pacotes de trabalho (PT).

Esses requisitos estão relacionados ao que Ballard (2000) define como restrições. Para esse autor, restrições são atividades gerenciais, necessidades físicas, financeiras e de informações de projeto que, se não disponibilizadas no momento, na quantidade e especificação corretas, impedem a realização das atividades relacionadas a elas. Segundo Ballard et al. (2002), as restrições são categorizadas em diretrizes, trabalho precedente e recursos. Diretrizes são as instruções necessárias para a realização das atividades, como, por exemplo, projeto, critérios e especificações. Trabalho precedente está relacionado à conclusão de atividades pré-requisito para atividade subsequente, por exemplo, na execução de uma estrutura de concreto armado moldado *in loco*, não é possível lançar o concreto sem a confecção das formas. Por último, os recursos estão relacionados à mão de obra, materiais e equipamentos necessários para executar a tarefa.

As ideias apresentadas por Sommer (2010) corroboram com as afirmações de Ballard et al. (2002) de que as perdas por improvisação estão fortemente relacionadas à

⁶Para Sommer (2010), *Making-do* tem o sentido de gerenciar com o que se tem disponível, improvisar ou, em uma linguagem mais coloquial, “dar um jeitinho”. Por não ter uma palavra em português para essa expressão exata, utiliza-se o termo em inglês.

gestão dos pré-requisitos necessários para a execução da tarefa. Assim, para que não ocorram improvisações, é necessário haver condições mínimas para início, desenvolvimento e conclusão das tarefas, obtidas por meio da identificação e remoção das restrições.

A indisponibilidade de requisitos para execução da tarefa tem suas causas na variabilidade e repercute em variabilidade no tempo de processamento da tarefa e no volume de produção (saída). Diante das peculiaridades da construção civil e a necessidade de: (a) garantir disponibilidade de condições para executar a tarefa; (b) coordenar o fluxo contínuo de produção (processo) e a continuidade no fluxo de trabalho (operação), constata-se a vulnerabilidade do sistema de produção à incerteza e a complexidade em geri-lo.

2.4. FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA VARIABILIDADE

De acordo com o apresentado no tópico anterior, a variabilidade se manifesta no fluxo de alimentação dos requisitos para executar a tarefa (KOSKELA, 1999), acarretando em variabilidade no tempo de processamento da tarefa (RONEN, 1992) que, por sua vez, afeta a variabilidade no volume de produção e, conseqüentemente, a variabilidade no fluxo de alimentação da tarefa subsequente (HOPP; SPEARMAN, 2013).

Slack et al. (2008) e Hopp e Spearman (2013) apontam duas classes de variabilidade: a de processamento e a de fluxo.

A variabilidade de processamento se manifesta dentro das estações de trabalho e é causada por variações naturais de atividades desempenhadas por operadores e equipamentos. Dentre essas causas, Hopp e Spearman (2013) destacam:

- a) Paradas aleatórias e programadas. Os referidos autores destacam que ações programadas, tais como paradas (programadas) para troca de turnos, reuniões e manutenções preventivas causam variações esperadas no tempo de processamento. No entanto, eventos contingenciais levam a comportamentos randômicos e, geralmente, sua ocorrência acarreta variações inesperadas;

- b) Variações no tempo de preparação das máquinas (*Setups*);
- c) Variação na disponibilidade de operadores.

Além desses fatores, Koskela (1999) afirma que a produtividade da mão de obra, ao executar tarefas manuais, é inevitavelmente variável. Portanto, em casos de emprego de tecnologias rudimentares e que exigem trabalho artesanal, a variabilidade de processamento tende a ser elevada.

A segunda classe é a variabilidade de fluxo que, segundo Hopp e Spearman (2013), ocorre quando a variabilidade em uma estação de trabalho afeta o comportamento da estação de trabalho anterior ou posterior, ou seja, se refere à variabilidade que ocorre entre as estações de trabalho.

Um aspecto ligado à variabilidade de fluxo destacado por Hopp e Spearman (2013) refere-se aos efeitos dela ao longo da linha de produção. A teoria das filas, apresentada pelos mesmos autores, mostra que a variabilidade no início da linha é mais nociva, pois segundo essa teoria, a variabilidade de fluxo se propaga de uma estação de trabalho a outra, ou seja, a variabilidade na saída de uma estação de trabalho é determinada, em parte, pela variabilidade de entrada desta mesma estação de trabalho.

Segundo Slack et al. (2008), quanto maior a variabilidade de fluxo, maior deverá ser o estoque intermediário de produtos semiacabados para garantir que o posto de trabalho não fique ocioso.

Tendo em vista o entendimento da palavra fluxo propiciado pelo MFP, a variabilidade na alimentação dos requisitos para execução da tarefa é, aqui, entendida como uma subclassificação da variabilidade de fluxo, uma vez que está relacionada ao fluxo de materiais/informações no tempo e no espaço ao alimentar as estações de trabalho. Assim, a mesma é tratada de forma destacada, tendo em vista a sua já mencionada repercussão na variabilidade de processamento e de fluxo entre as estações de trabalho das atividades subsequentes àquela cujos recursos não foram devidamente disponibilizados.

As manifestações da variabilidade ao longo da produção requerem diferentes formas de atuação com o propósito de reduzi-la. A seguir, algumas formas de atuação são apresentadas.

2.5. ATUAÇÕES PARA REDUÇÃO DA VARIABILIDADE

2.5.1. Redução da Variabilidade na Disponibilidade dos Requisitos para Execução da Tarefa

Uma ferramenta utilizada para a diminuição da variabilidade e seus efeitos nocivos é o sistema *Last Planner*, apresentado como uma ferramenta de Planejamento e Controle da Produção (PCP). Este sistema propõe que o PCP seja desenvolvido em três níveis (longo, médio e curto prazo), com o objetivo de proteger a produção aumentando a confiabilidade dos planos gerados (BALLARD, 2000).

No planejamento de médio prazo, ocorre uma das principais etapas de proteção da produção previsto no sistema *Last Planner*: a análise de restrições. Com base no entendimento do que consiste uma restrição apresentado anteriormente, nesta etapa, busca-se garantir a disponibilidade adequada de condições para a execução das tarefas, ou seja, reduzir a variabilidade na disponibilização dessas condições, garantindo, assim, uma estabilidade básica para execução das tarefas.

Estabilidade básica é um termo diretamente relacionado à redução da variabilidade na disponibilidade dos requisitos para execução da tarefa. Smalley (2005) define estabilidade básica como um estado de previsibilidade do tempo de ciclo, assegurada pela disponibilidade constante de um conjunto de recursos de mão de obra, máquinas, materiais e métodos, também denominado de 4M's.

Em seu trabalho, Fazinga (2012) afirma que, no contexto da construção civil, em que as equipes de produção se deslocam para realizar as atividades em diferentes partes do produto, especificações relativas à disponibilização dos requisitos (*Kit Completo*) assumem papel importante na redução da variabilidade na alimentação das estações de trabalho.

Segundo Fazinga (2012), diante das condições de execução da tarefa no contexto da construção civil, a disponibilização de recursos na obra prevista no planejamento de médio prazo não é suficiente, sendo necessário, ainda, gerir a disponibilização dos recursos nos postos de trabalho (canteiro de obras).

2.5.2. Redução da Variabilidade de Processamento e de Fluxo

Para reduzir a variabilidade no processamento, a produção em massa buscou a padronização das tarefas realizadas pelos operadores por meio de estudos dos tempos e movimentos, buscando a melhor forma de executar a tarefa (HOPP; SPEARMAN, 2013).

A especificação do trabalho deve definir os objetivos e um método a ser seguido por todos os envolvidos na produção, com o propósito de contribuir para a redução da variabilidade de processamento, buscando manter uma velocidade constante de produção (FAZINGA, 2012).

Segundo Treville e Antonakis (2005), a definição de um método de trabalho e o treinamento da equipe para executá-lo pode trazer benefícios que vão além da estabilidade no tempo de ciclo da tarefa (redução da variabilidade de processamento). Esses autores acrescentam que a estabilização no tempo de processamento pode favorecer o conhecimento da velocidade de consumo de materiais e a identificação de problemas com as máquinas que possam causar interrupções. Esses benefícios, por sua vez, podem facilitar as ações gerenciais de disponibilização dos recursos mencionadas no tópico anterior. Outra alternativa consiste na adoção de *buffers* que são folgas no sistema de produção. Essas folgas podem ocorrer na capacidade produtiva (mão de obra e máquinas), mas também na programação (folgas de tempo) ou por intermédio de estoques de matéria prima e de produtos semiacabados (HOWELL; LAUFER; BALLARD, 1993), (BALLARD; HOWELL, 1997). Embora estoques sejam considerados maléficis na concepção do STP, Spear e Bowen (1999) justificam que o emprego desses *buffers* é uma contramedida adotada até que sejam implementadas melhorias no sistema, no caso em questão, até que o fluxo de produção se estabilize, ou seja, até que a variabilidade no processamento seja reduzida. Especificamente, a utilização de *buffers* de mão de obra/máquinas permite que as estações de trabalho

operem com certa folga na capacidade de produção. Essa medida é contrária aos princípios de gestão com foco na operação, já que pode ocasionar ociosidade da mão de obra. Por outro lado, Hopp e Spearman (2013) demonstram que operar com volume de trabalho próximo à capacidade de produção torna o fluxo de trabalho vulnerável a interrupções, uma vez que uma variabilidade natural sempre existirá.

Outra abordagem que busca contribuir para a redução da variabilidade de processamento tem seus princípios nos estudos sócio-técnicos que consiste em permitir que a equipe responsável pela realização das atividades tenha autonomia para definir aspectos relacionados à produção (equipes semiautônomas) (COELHO, 2007).

Segundo Biazzi (1994), uma equipe semiautônoma se caracteriza pela responsabilidade coletiva frente a um conjunto de tarefas, em que o arranjo do trabalho é definido com a participação dos membros da equipe. Isso contribui para o aprendizado das tarefas e permite a rotação das funções, facilitando uma interação cooperativa. Segundo o mesmo autor, a equipe semiautônoma deve, ainda, ser responsável pelos recursos à sua disposição e ter autonomia para utilizá-los. A autonomia da equipe semiautônoma abrange: métodos de trabalho, escolha de líderes, distribuição de tarefas e definição de metas.

Para Fazinga (2012), a redução da variabilidade pode ser obtida por meio da definição de um método padronizado de trabalho. Para isso, a mesma autora detalha os elementos que compõem o método. Esses elementos serão detalhados no capítulo três.

No trabalho de Isatto e Zuchetti (2014) foi feito um acompanhamento da produção da etapa estrutura de uma torre de 19 pavimentos. Esse acompanhamento evidenciou que, embora as equipes tivessem características de grupos semiautônomos, distribuindo elas mesmas as atividades entre seus membros de forma dinâmica, essas equipes necessitavam de uma orientação de como dividir o trabalho a ser realizado entre seus membros. Assim, foram elaboradas rotinas de operação para cada equipe. Essas rotinas não buscava restringir a autonomia dos operários, mas servir como uma orientação às equipes de como atingir o objetivo definido pelo tempo de ciclo planejado.

2.6. SÍNTESE

Buscou-se, nesse capítulo, apresentar o conceito de sistemas de produção, situando a construção civil na tipologia de sistemas de produção por empreendimento. Em seguida, foram discutidas as principais peculiaridades dos sistemas de produção na construção civil e os impactos que essas peculiaridades causam nesses sistemas.

A ótica da produção como uma rede de processos e operações foi destacada dada a sua contribuição para o entendimento dos efeitos da variabilidade, fenômeno frequente no sistema de produção da construção civil. O entendimento da produção sob essa ótica também propicia a assimilação de conceitos e princípios modernos de gestão dos sistemas de produção originados, principalmente do STP, e que vem sendo adotados na construção civil com o propósito de redução coordenada de perdas no processo e na operação.

A padronização do processo de produção foi apontada como uma alternativa para lidar com a variabilidade ocasionada por falhas na disponibilização de condições adequadas para a execução da tarefa e, também, com a variabilidade decorrente de ações da mão de obra.

A literatura tem apontado que padrões de processo são estabelecidos mediante ciclos repetitivos de implementação de especificações relativas à produção e ajustes até que uma melhor forma de execução da tarefa seja atingida. O conjunto de especificações relativas à produção é denominado, nessa pesquisa, projeto da produção, e será o foco no próximo capítulo.

3. PROJETO DA PRODUÇÃO

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo tem o propósito de apresentar o escopo do projeto da produção e situar o momento em que as especificações contidas nesse projeto devem ser estabelecidas ao longo do empreendimento da construção civil.

No que se refere ao momento em que as especificações do projeto da produção são estabelecidas, adotou-se como referência o modelo proposto por Ballard (2000), denominado *LPDS – Lean Project Delivery System* (Sistema de Entrega de Empreendimentos Enxutos). Nesse modelo, é possível constatar que especificações com impacto na produção são estabelecidas de forma interativa e iterativa ao longo do desenvolvimento do empreendimento na construção civil. A grande amplitude temporal em que essas especificações ocorrem implica diferentes horizontes de tempo entre as suas definições e a implementação (execução) e, conseqüentemente, variações nos graus de incerteza ao estabelecê-las.

Para lidar com os diferentes graus de incerteza, há variações no escopo dessas especificações, o que tem ocasionado o surgimento, na bibliografia, de uma série de termos relacionados a projetos com impactos na produção.

O escopo desses diferentes projetos será apresentado nesse capítulo. No entanto, em virtude do foco da pesquisa, haverá ênfase no conjunto de especificações do projeto da produção. Considerando a afirmação feita no capítulo anterior de que padrões para a produção são estabelecidos, em caráter experimental, mediante ciclos de elaboração do projeto da produção e sua implementação até que uma melhor prática (padrão) seja atingida, o escopo desse projeto, aqui apresentado, é proveniente de resultados de pesquisas anteriores que investigaram os elementos que devem compor padrões de produção para o contexto da construção civil.

3.2. A FUNÇÃO PROJETO

A palavra projeto é, geralmente, empregada com dois significados distintos. Um deles é originado do termo em inglês *project* e utilizado por publicações reconhecidas como o Guia PMBOK (4ª edição) para expressar um esforço temporário, destinado a produzir um produto, serviço ou resultado único. No entanto, nesse estudo, propõe-se o uso do termo empreendimento, também adotado por muitos autores.

Outro significado da palavra projeto refere-se à reunião de especificações técnicas que traduzem uma ideia inicial em informações, por meio de representações gráficas e textuais, normalmente embasadas em normas técnicas (VIVAN, 2011). A palavra inglesa *design* é utilizada nesse sentido. Porém, aqui, será empregado o termo projeto.

Uma vez esclarecido o significado da palavra projeto adotada nessa pesquisa, passa-se aos esclarecimentos a respeito da natureza da atividade de projeto, a fim de facilitar o entendimento do processo de desenvolvimento do projeto da produção. Para Schmitt (2006), projeto e planejamento são atividades que definem meios para atingir um futuro desejável. No entanto, há diferenças intrínsecas no processo de desenvolvimento de ambas as atividades.

Segundo Schmitt (2006), o projeto é considerado como a etapa de definição, identificação e formulação do problema, suas causas subjacentes, sua estrutura e dinâmica, de tal forma que uma abordagem para solucionar o problema possa ser estabelecida. O projeto é uma etapa conceitual que busca levantar hipóteses e entender o comportamento do mundo físico. A abordagem de projeto implica o exercício de julgamento criativo a partir do conhecimento e compreensão dos responsáveis por sua elaboração. Assim, o projeto permite o surgimento de soluções baseadas em uma evolução coletiva do conhecimento (KREMER, 2016).

Em contraste, o planejamento é entendido como a etapa em que as soluções definidas na etapa de projeto são aplicadas para propor um plano de ações. Dessa forma, o planejamento ocorre a partir de um quadro conceitual criado na etapa de projeto. O planejamento se concentra na geração de um plano de ações a serem executadas para

atingir determinado objetivo, sendo que essas ações destinam-se a causar um efeito no mundo físico (SCHMITT, 2006).

Em síntese, o projeto normalmente precede o planejamento, pois fornece o contexto e as informações que buscam garantir um planejamento adequado (SCHMITT, 2006).

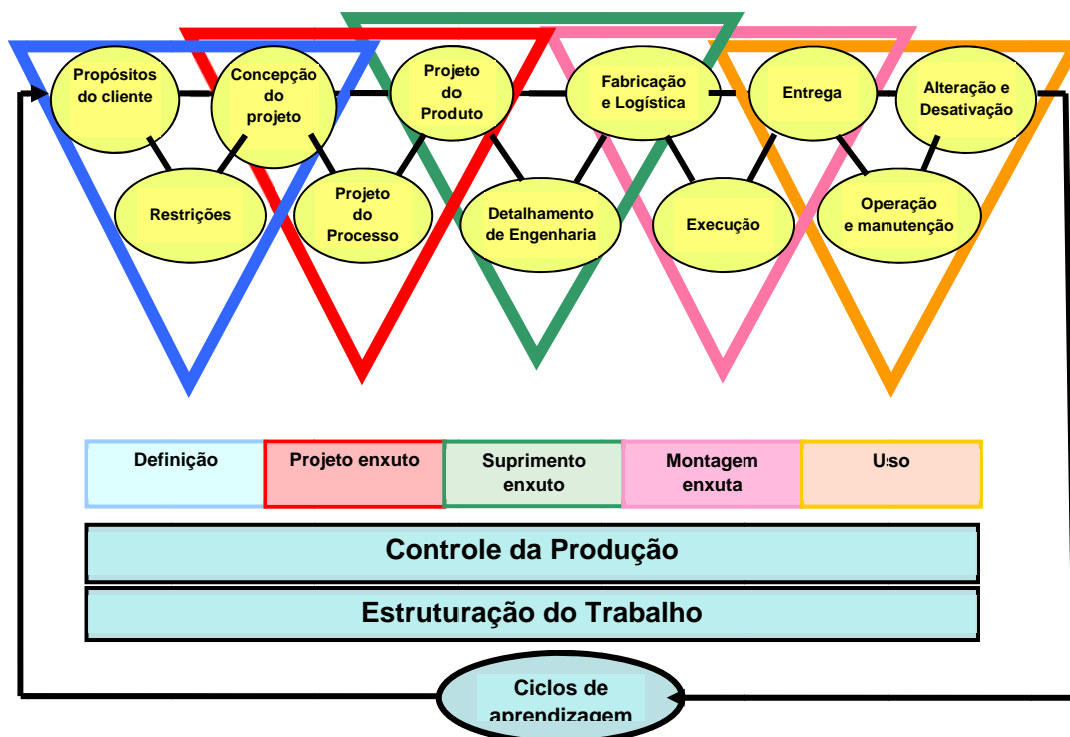
Para Slack et al. (2009), a atividade de projeto aplica-se tanto a produtos quanto aos sistemas que o produzem, sendo os dois inter-relacionados. Essa integração da etapa de projeto com a etapa de produção gera a necessidade de troca de informações entre os profissionais que atuam nessas áreas.

Ballard (2000) propõe um modelo de gestão do processo de desenvolvimento do empreendimento que considera a interação das diversas etapas de projeto e produção, voltado a entregar valor para o cliente. Esse modelo será apresentado a seguir.

3.3. PROJETO AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DO EMPREENDIMENTO

Ballard (2000) propõe um modelo para gestão de empreendimentos denominado Sistema de Entrega de Empreendimentos Enxutos (*Lean Project Delivery System – LPDS*). Nessa abordagem, Ballard (2000) apresenta o empreendimento em cinco fases: definição do empreendimento, projeto, suprimentos, montagem e uso. Cada uma dessas fases é representada como uma tríade de três módulos. As fases são interconectadas por meio de um módulo comum a duas fases consecutivas, conforme a representação gráfica apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Sistema de entrega de empreendimentos enxutos (BALLARD, 2000)



Fonte: Ballard (2000)

Nesse modelo, o empreendimento é estruturado e gerido como um processo de geração de valor na medida em que os esforços são focados em assegurar o atendimento aos requisitos do cliente a partir de fluxos de trabalho estáveis, por meio da integração das equipes de projeto e de produção ao longo do desenvolvimento do empreendimento. Assim, a troca de informações ao longo de todas as etapas do empreendimento busca a aprendizagem das equipes e a adaptação do sistema de produção.

A estruturação do trabalho (*work structuring*) e o controle da produção são representados como base dessa abordagem, ocorrendo ao longo de todas as fases do empreendimento.

Segundo Ballard (2000), o termo estruturação do trabalho (*work structuring*) indica o primeiro nível do projeto do processo. Sua elaboração deve considerar o projeto do produto, a cadeia de suprimento, a alocação dos recursos, a execução e o uso do empreendimento. As decisões referentes à estruturação do trabalho ocorrem ao longo de todas as fases do empreendimento. Por exemplo, as decisões referentes a determinado

fornecedor devem ser feitas durante o projeto do produto, dado o impacto causado pelos componentes que esse fornecedor disponibiliza nas características do produto. No entanto, a capacidade de produção na prestação de serviço desse fornecedor deverá ser considerada ao projetar a produção, em período próximo à execução (BALLARD, 2000). De acordo com o definido anteriormente, nesse capítulo, o processo de projeto se desenvolve mediante a formulação de um problema e do contexto em que ele está inserido e as soluções emergem baseadas em uma evolução coletiva do conhecimento. Essa evolução ocorre a partir de um processo iterativo e interativo. A partir do modelo LPDS proposto por BALLARD (2000), a configuração da estruturação do trabalho ao longo do empreendimento ocorre por meio de ciclos de aprendizagem dos diferentes agentes envolvidos levando a adaptações no sistema de produção. Por esta razão, segundo Ballard et al. (2001), a estruturação do trabalho é o projeto do sistema de produção (PSP).

3.3.1. Projeto do Sistema de Produção

Para Slack et al. (2009), a produção abrange uma rede que inclui fornecedores e clientes. Assim, o PSP deve considerar as decisões relativas a toda essa rede.

O PSP define os meios necessários para que esse sistema alcance seus objetivos. Ballard et al. (2001) apresentam os três principais objetivos do sistema de produção: maximizar valor, reduzir perdas e realizar o trabalho. Os dois primeiros objetivos, segundo os autores, são objetivos universais. O valor de um produto é definido na medida em que atende as necessidades do cliente, por isso o PSP deve buscar obter os requisitos dos clientes e deve considerá-los no desenvolvimento do produto.

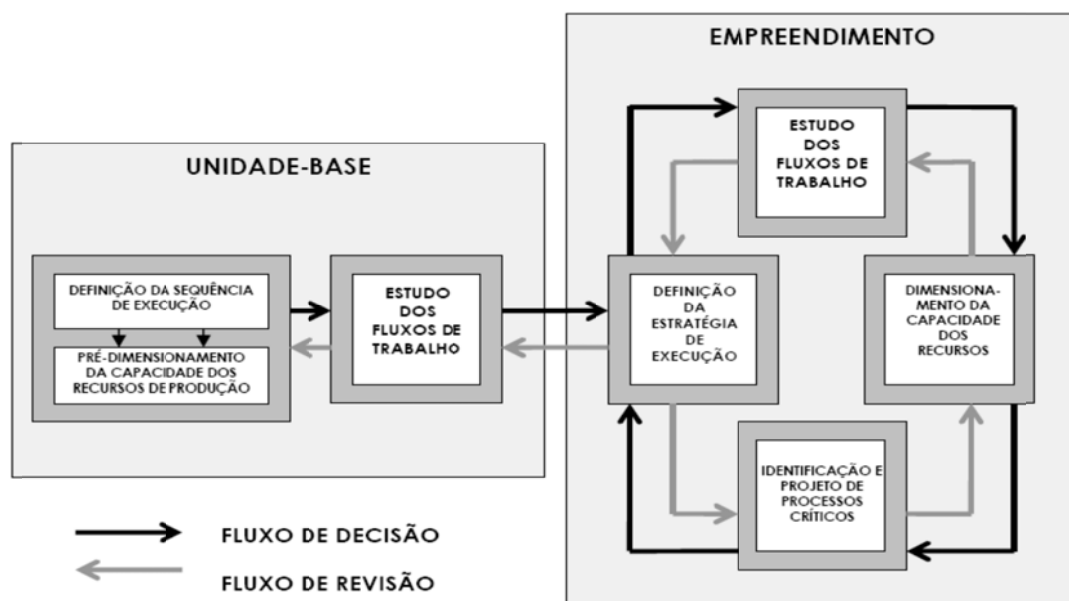
Para Slack et al. (2009), o PSP interfere na capacidade do sistema produtivo atender os requisitos do cliente. Um processo com capacidade insuficiente, arranjo físico confuso ou desordenado, tecnologia inadequada ou pessoal incapaz tende a não satisfazer os clientes.

Para Ballard et al. (2001), o PSP é a primeira tarefa de um empreendimento e envolve desde definições estratégicas do sistema de produção até definições das atividades produtivas, como, por exemplo, de que maneira ocorrem as operações.

Segundo Schramm (2004), decisões tomadas durante a fase de elaboração do projeto do produto impactam o desempenho do sistema de produção. Por isso, o PSP deve fornecer os aspectos do sistema de produção que devem ser considerados durante a elaboração do projeto do produto. Em seguida, o PSP deve fornecer as especificações do produto e os requisitos dos clientes para garantir a estruturação adequada do trabalho a ser realizado.

Entende-se, portanto, o PSP como um dos elos entre o produto a ser produzido e o sistema de produção que o produzirá, organizando-o de forma a tornar o sistema de produção mais simples e efetivo, conforme ilustra o modelo proposto por Schramm (2004), apresentado a seguir na Figura 5.

Figura 5 – Modelo para elaboração do projeto do sistema de produção.



Fonte: Schramm (2004)

Schramm (2004) divide o modelo em duas unidades de análises: a unidade-base refere-se ao elemento que apresenta uma repetitividade ao longo da produção, podendo ser uma casa, um bloco ou um pavimento; a unidade definida como empreendimento compreende a execução de todas as unidades, além das etapas que não estão inseridas na unidade-base, como, por exemplo, execução da periferia em empreendimentos verticais, execução de infraestrutura e instalação de equipamentos.

Na primeira unidade de análise, são determinadas as técnicas construtivas a serem utilizadas, a sequência de execução, as taxas de produtividade da unidade-base e, por último, o estudo dos fluxos de trabalho, considerando as dimensões de espaço e tempo e buscando identificar as possíveis interferências entre as diversas equipes de trabalho.

A partir das definições anteriores, é especificada a estratégia de execução do empreendimento, já na unidade de análise do empreendimento. Essa definição deve considerar os requisitos de prazo e custo do sistema de produção, a capacidade de fornecimento dos suprimentos e a capacidade de produção dos processos críticos.

Os processos críticos, segundo Schramm (2004), são os processos cuja capacidade individual limita a capacidade de produção de todo o sistema. Para esse autor, esses processos devem ser projetados para garantir a sincronia dos ritmos dos demais processos produtivos. Por isso, o modelo de Schramm (2004) propõe a elaboração do projeto do processo crítico juntamente com as definições do PSP antes do início da produção.

Rodrigues (2006), no contexto de obras complexas, propõe que o projeto do processo crítico ocorra em duas etapas: a primeira, no início da elaboração do PSP, com o objetivo de identificar a capacidade mínima de produção desses processos. A segunda, que deve ocorrer próxima ao início da produção do processo crítico, busca reduzir a incerteza nas definições desse processo. Nesta segunda etapa, o projeto do processo crítico deve abranger aspectos como sequência de montagem, materiais necessários, duração das atividades, necessidades relacionadas à segurança e quantidade mínima de estoque.

Em um estudo de caso, Tsao (2005) busca projetar o processo de instalação de batentes em um sistema carcerário. Para essa autora, o projeto do processo deve determinar: a mão de obra que executará as atividades, a sequência das atividades, como será o lote de transferência entre as unidades, quais atividades serão executadas em paralelo ou sequencialmente e qual o estoque necessário.

Howell e Ballard (1999) utilizam o termo projeto da operação (*operations design*) para descrever um conjunto de especificações de elementos como, tecnologias disponíveis, *layout* do canteiro e logística, tamanho dos PT, dimensionamento das equipes de produção, fatores de segurança e métodos de trabalho. Esses autores propõem que esse projeto seja elaborado em duas fases. A primeira, de caráter estratégico, deve ocorrer junto com a concepção do produto e busca definir os materiais e as tecnologias a serem utilizadas na produção. Essa segunda fase do projeto deve detalhar o método de trabalho e deve ocorrer de três a seis semanas antes do início da produção.

Hackett et al. (2015) utilizam o termo projeto do trabalho (*work design*) para descrever o conjunto de especificações de como o trabalho deve ser realizado. Para os autores, esse projeto deve ser desenvolvido, inicialmente, baseando-se em empreendimentos anteriores. Em seguida, deve-se buscar o engajamento das equipes de produção no desenvolvimento e na revisão do projeto. Essa integração contribuiu para uma melhoria no desempenho da equipe de produção, pois aumentou o senso de propriedade da equipe de produção sobre as definições do projeto e contribuiu para o entrosamento da equipe.

Diante dos diversos termos utilizados (projeto do sistema de produção, estruturação do trabalho, projeto do processo, projeto das operações, projeto do trabalho) e, tendo em vista: (a) a similaridade dos escopos apresentados por cada autor; e (b) o conceito de sistema de produção apresentado no capítulo anterior, considera-se o termo “projeto do sistema de produção” adequado para designar o conjunto de especificações que abrange, desde as primeiras especificações estratégicas do empreendimento até o detalhamento de etapas construtivas específicas realizado próximo à execução. Assim, conforme apresentado no modelo LPDS, o PSP ocorre ao longo de todo o empreendimento. Próximo à execução das etapas construtivas, o PSP deve ser mais detalhado e deve considerar uma série de decisões estratégicas definidas no início. Esse detalhamento de uma etapa construtiva próxima à sua execução é chamado por Schramm (2004) de projeto do processo. Nesse trabalho, adota-se o termo “projeto da produção”, proposto por Kremer (2016), reconhecendo-o com integrante do PSP. Segundo Kremer (2016), o escopo desse projeto abrange especificações relativas

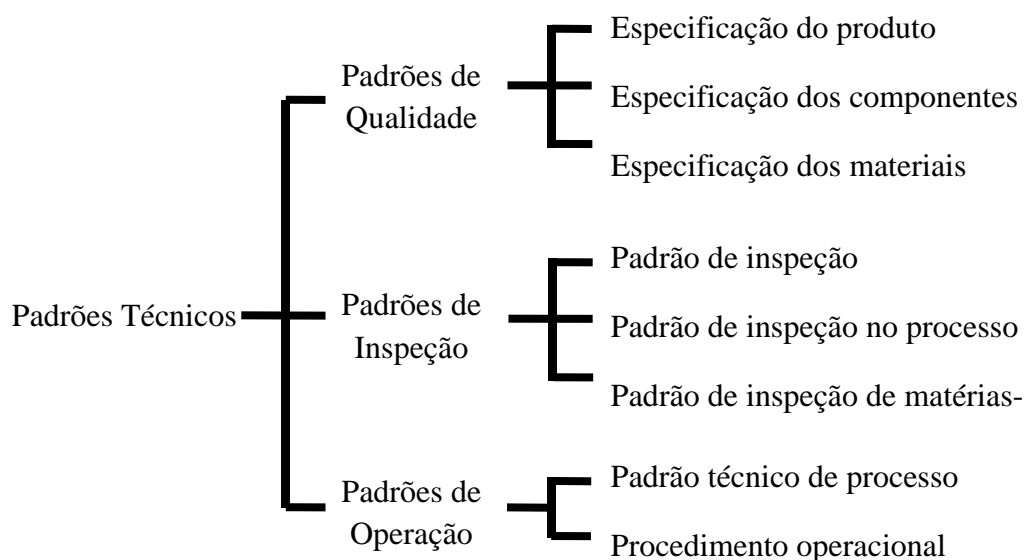
ao processo e também às operações, conforme a concepção do MFP apresentada no capítulo anterior.

De acordo com Martucci (1990), o desenvolvimento e a utilização do projeto da produção ao longo do empreendimento permite às empresas ampliar o domínio técnico sobre suas práticas construtivas, estabelecendo padrões de qualidade e níveis de produtividade desejados. Nele, é descrito qual a dinâmica de produção, possibilitando, assim, ao longo do tempo e gradativamente, uma abordagem para estabelecer um padrão de produção de determinada etapa construtiva.

Segundo Campos (2004), as atividades de uma empresa podem ser descritas por dois tipos de padrões: *padrões de sistema*, para os procedimentos gerenciais e *padrões técnicos*, para as especificações do produto, do processo, da matéria prima e de inspeção.

Os padrões técnicos devem ser desdobrados conforme Figura 6. O objetivo destes padrões deve ser a simplificação e a clareza, pois eles são o meio de comunicação para a transferência de tecnologia (informação) das áreas técnicas até o operador (CAMPOS, 2004).

Figura 6 – Desdobramentos dos padrões técnicos



Fonte: Campos (2004)

Para Campos (2004), a especificação do produto (e seu projeto) é proveniente das necessidades do cliente. A partir do projeto do produto é desenvolvido o projeto da produção que deve ser implementado e readequado até atingir um padrão que passará a ser entendido como a melhor prática até aquele momento, esse padrão é entendido como padrão técnico do processo. O escopo do padrão técnico de processo, segundo Campos (2004), é composto por:

- a) Um fluxograma dos equipamentos de produção, situação das matérias-primas e transformação dos materiais;
- b) Pontos ao longo do processo onde devem ser efetuadas medidas de controle;
- c) Forma de coleta de dados;
- d) A descrição do produto ou do serviço, quantidades necessárias de matéria-prima e número de trabalhadores necessários em cada tarefa;
- e) Descrição detalhada das transformações que ocorrem ao longo do processo;
- f) Descrição das atividades auxiliares.

A partir do padrão técnico do processo são desenvolvidos os procedimentos operacionais que são a descrição das atividades a serem executadas em cada estágio da produção. O procedimento operacional é preparado para os operários diretamente ligados à tarefa com o objetivo de atingir de forma eficiente e segura os requisitos da qualidade (CAMPOS, 2004). Campos (2004) afirma que os operários devem ser desafiados a discutir e participar da elaboração dos procedimentos operacionais contribuindo para a motivação e participação no treinamento dos mesmos. Este autor destaca o “treinamento no trabalho” como a base para o treinamento dos operários. O treinamento no trabalho decorre dos procedimentos operacionais e compõe a padronização da produção.

O treinamento no trabalho está relacionado à implementação das especificações do projeto da produção na frente de trabalho buscando aperfeiçoar essas especificações de acordo com a viabilidade do ambiente de produção. Alguns autores propõem o uso do *First Run Study (FRS)* como ferramenta para reduzir as incertezas na elaboração do

projeto da produção. Para isso, as especificações devem ser implementadas no primeiro ciclo da produção da etapa construtiva projetada. Os principais problemas identificados devem ser analisados buscando propor melhorias para a produção (HOWEL; BALLARD, 1999; TSAO, 2005; RODRIGUES, 2006).

A seguir, serão apresentadas pesquisas voltadas ao entendimento do: (a) conteúdo do PSP de uma etapa construtiva próxima à sua execução; (b) as diretrizes para a elaboração do projeto da produção na construção civil.

3.4. PESQUISAS ANTERIORES RELACIONADAS AO PROJETO DA PRODUÇÃO

Fazinga (2012) buscou entender os componentes conceituais do padrão, pois, segundo a autora, a especificação destes componentes deveria orientar a organização do trabalho a ser desempenhado pelos operários.

Em seu estudo, Fazinga (2012) aponta um conjunto de elementos do padrão, relacionando-os aos componentes conceituais: meta, restrições e método proposto por Kondo (1991). Esses elementos a serem especificados para compor o padrão foram identificados durante o acompanhamento da etapa de estruturas de concreto armado em edifícios multipavimentados. Esses elementos são apresentados na Figura 7.

Figura 7– Elementos do padrão na construção civil Fazinga (2012)

Componentes Conceituais Kondo (1991)	Elementos do Trabalho Padronizado – Fazinga (2012)
Meta	Características do produto final conforme requisitos do cliente
	Objetivos atrelados aos critérios competitivos da organização (prazo, custo)
Restrições	Compartilhamento de recursos (materiais, equipamentos e mão de obra)
	Condições requeridas para uso de materiais e componentes
	Quantidade de estoque em processo
Método	Atividades constituintes do processo
	Sequência técnica das atividades
	Pacotes de trabalho distribuídos ao longo do período delimitado pelo <i>takt-time</i>
	Sequência de execução de cada pacote de trabalho
	Dimensionamento da equipe de produção
	Distribuição dos pacotes de trabalho para cada operário
	Especificação de <i>kits</i> de recursos para cada pacote de trabalho
Especificação do transporte de materiais e equipamentos	

	Especificação de armazenamento de materiais e equipamentos
	Pontos chave
	Rotina de operações para equipamentos
	Pontos de inspeção de qualidade e as tolerâncias correspondentes
	Pontos de monitoramento em relação às metas

Fonte: Fazinga (2012)

A meta está relacionada a dois principais elementos. Primeiro é o atendimento dos requisitos do cliente, garantindo critérios de qualidade na execução que evitem comprometer a qualidade do produto. O segundo elemento está relacionado aos critérios competitivos da organização, entre eles, o principal é o prazo de entrega do produto. Ao cumpri-lo, a empresa busca, principalmente, satisfazer esse cliente com a estratégia de fidelizá-lo e captar outros clientes. No contexto do estudo de Fazinga (2012) foram consideradas essas duas dimensões de desempenho: qualidade e, principalmente, prazo porque este era o critério competitivo valorizado pela empresa. No entanto, em outros contextos a elaboração do projeto da produção pode considerar outras dimensões de desempenho, como por exemplo, custo e flexibilidade do produto.

As restrições estão relacionadas aos fatores que limitam o desempenho de um sistema, seja por falta de capacidade de um recurso, por decisões administrativa ou pela indisponibilidade de *inputs* (FAZINGA, 2012). Segundo o modelo de PSP proposto por Schramm (2004), apresentado anteriormente, as decisões estratégicas tomadas no início do empreendimento podem impor restrições para a execução da etapa construtiva. Kremer (2016) destaca as seguintes decisões estratégicas que podem impactar a produção: o *layout* do canteiro, a determinação das estruturas de apoio, e os acessos para os materiais à obra.

No estudo de Kremer (2016) outras restrições são definidas pela equipe responsável pela elaboração do projeto da produção, são elas:

- a) Compartilhamento de recursos: a grua seria utilizada tanto na execução da etapa projetada quanto na descarga de materiais. Essa situação poderia sobrecarregar a grua e causar indisponibilidade na frente de trabalho. Outra situação é que havia apenas um jogo de painéis de forma de pilares para um lado do pavimento;

- b) Estoque: era necessário um estoque de pré-vigas equivalente a um pavimento, pois a falta de uma pré-viga poderia ocasionar atrasos na produção;
- c) Especificações técnicas: cura do concreto das pré-vigas para permitir o transporte dessas peças e a cura de 21 dias da laje exigindo assim a permanência de escoramento em 3 pavimentos.

As especificações que compõem o método conduzem ao entendimento de como o processo produtivo deve acontecer. Segundo Fazinga (2012), a identificação detalhada das atividades do processo e a sua sequência para execução são especificações essenciais para a definição do método. Depois de identificado o conteúdo do processo, torna-se necessário segmentá-lo em PTs.

O conceito de pacote de trabalho⁷ (PT), segundo Coelho (2003), é definido como um conjunto de três fatores: uma ação, um elemento e um local. A ação indica a natureza da tarefa a ser executada e é definida por um substantivo que indica essa ação, tais como montagem, armação e concretagem. Já o elemento é um componente físico do produto, o objeto em que deve ser realizada a ação, por exemplo, pilares, vigas e lajes. Por último, o local define a região da obra em que ocorrerá a ação. São exemplos de locais o lado A, o pavimento 1 e o apartamento 101.

Assim, a especificação do PT deve, além de definir claramente a tarefa a ser executada pela equipe, buscar a redução dos lotes de produção. Para isso, considerando o sistema de produção da construção civil descrito no capítulo 2, a especificação dos PTs envolve não apenas quantidade de produtos/partes, mas a distribuição destes no espaço. A redução do tamanho dos lotes de produção considerando as regiões da laje a partir do conceito de pacote de trabalho está contribui para a organização da produção e também para disponibilização dos recursos na área de trabalho (KREMER, 2016).

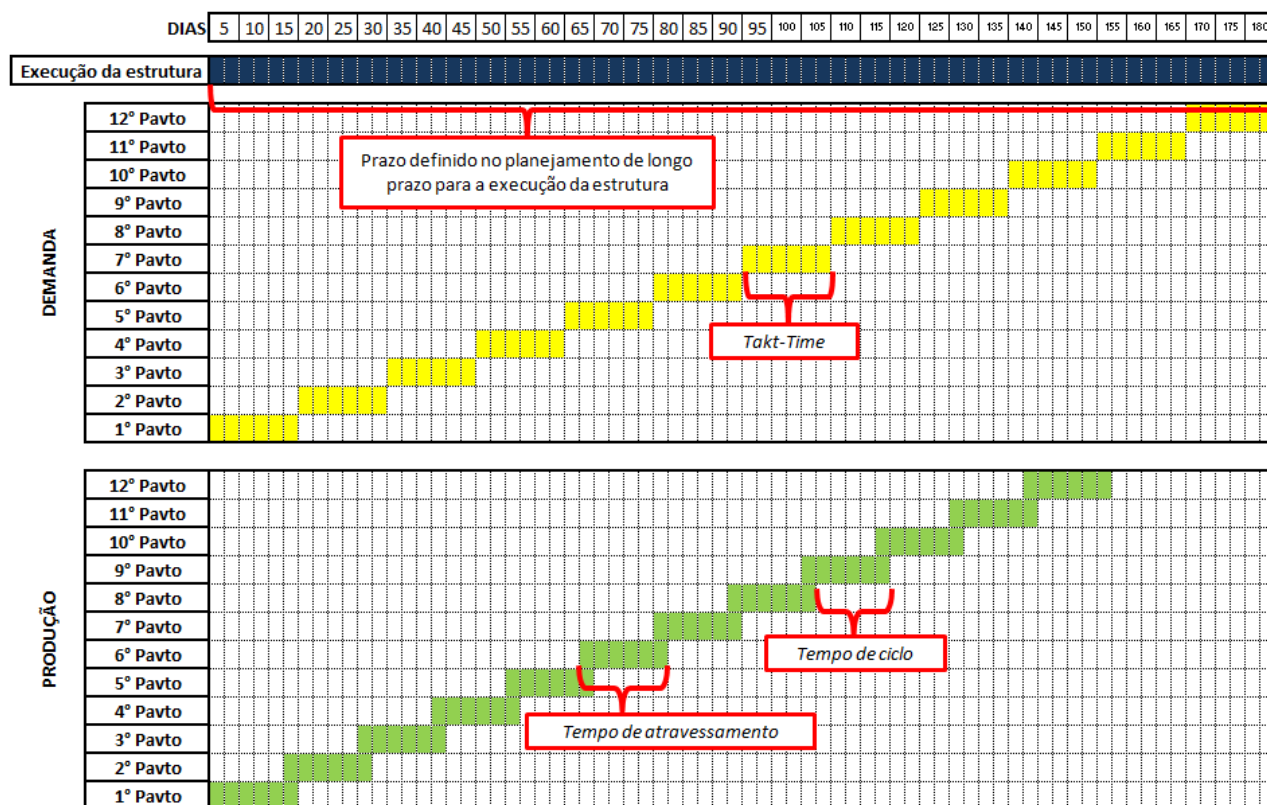
Segundo Kremer (2016), os PTs devem ser dimensionados de forma que tenham duração de um período de trabalho para possibilitar o estabelecimento de pontos de

⁷ Machesan (2001) utiliza o termo tarefa de produção, Coelho (2003) apresenta para essa definição o termo Pacote de Trabalho que será utilizado neste trabalho.

controle a cada período, verificando o desempenho da produção e permitindo que, em caso de atraso, medidas corretivas sejam adotadas.

Após a definição dos PTs, é necessário estabelecer a sequência de execução de cada um. Nessa sequência, são definidos aqueles PTs que podem ser executados de forma paralela e aqueles que devem obedecer a uma ordem de precedência (FAZINGA, 2012).

No sequenciamento dos PTs é preciso considerar um tempo de ciclo (TC) compatível ao takt-time. Segundo Alvarez e Antunes Jr (2001), takt-time é definido para a produção contínua como o ritmo da demanda e representa uma meta à qual o sistema de produção deve atender. Matematicamente, é o resultado da divisão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas. O takt-time pode ser obtido no planejamento de longo prazo (FAZINGA, 2012). Por exemplo, em um empreendimento de 12 pavimentos, se o planejamento de longo prazo prevê que a estrutura seja concluída em 180 dias, o takt-time para a execução da estrutura de cada pavimento será de 15 dias. Segundo Fazinga (2012), uma vez determinado o takt-time, deve-se estruturar o processo produtivo em busca de um tempo de ciclo menor que o takt-time para garantir uma folga para lidar com situações não previstas. Uma maneira de reduzir o tempo de ciclo é optar por uma sobreposição na execução de diferentes pavimentos, ou seja, iniciar as atividades no pavimento seguinte antes da conclusão do pavimento. Assim, o tempo de ciclo é considerado como o tempo decorrido entre a conclusão de um pavimento até a conclusão do pavimento seguinte. O tempo decorrido para a produção de um pavimento é chamado nessa pesquisa de tempo de atravessamento. A Figura 8 apresenta a diferença entre o takt-time, tempo de ciclo e o tempo de atravessamento.

Figura 8 – *Takt-time*, Tempo de ciclo e Tempo de atravessamento

Fonte: do autor

Para garantir a execução dos PTs no tempo determinado, é necessário definir a quantidade de mão de obra que deve ser alocada em cada PT. Fazinga (2012) recomenda que seja definido o número de operários em cada PT e que o encarregado da equipe de produção deve ficar responsável pela distribuição das tarefas entre os operários conforme as habilidades necessárias para cada serviço. Kremer (2016) corrobora esse argumento, afirmando que diante das peculiaridades da construção civil e as características da etapa estrutura, não se deve adotar uma rotina específica para cada trabalhador, mas os próprios membros da equipe devem se auto-organizar para cumprir o PTs no período estabelecido.

Segundo Fazinga (2012), para que cada PT possa ser executado adequadamente é necessária a especificação de um *kit* de recursos (materiais, componentes, máquinas e equipamentos) que deve estar disponível no local onde será realizado trabalho. Segundo a autora, essa especificação é importante devido às constantes interrupções no fluxo de

produção decorrente do deslocamento da mão de obra em busca de materiais e ferramentas que não estavam disponíveis na frente de trabalho.

Uma vez quantificados e definidos os *kits* de recursos necessários em cada PT, deve-se especificar como esses recursos serão transportados e disponibilizados no local onde será realizado o trabalho. Para Kremer (2016) no transporte dos recursos deve-se buscar a formação de lotes em compartimentos projetados para levar quantidades-padrão de recursos até a frente de trabalho. Essas especificações devem buscar reduzir a parcela de atividades de transporte que, segundo o STP, são atividades que não agregam valor e devem ser reduzidas (LIKER, 2007). Segundo Kremer (2016), na elaboração do projeto da produção, deve-se estabelecer premissas para a disposição dos recursos na área de trabalho, tais como: (a) especificar os locais onde os recursos não podem ser depositados, para evitar a obstrução na execução de determinados PTs ou a necessidade de movimentar recursos já depositados na área de trabalho; (b) os recursos que serão utilizados em toda a área da laje devem, preferencialmente, ser depositados na região central da mesma; (c) os recursos a serem utilizados em um pacote de trabalhado devem, preferencialmente, ser depositados nas proximidades onde a tarefa será realizada; e d) deve-se elaborar um leiaute simplificado para ser utilizado durante a execução da atividade.

Segundo Fazinga (2012), a especificação do posicionamento dos recursos na área de trabalho pode interferir na produtividade da equipe, pois recursos posicionados inadequadamente podem gerar retrabalho e aumentar as atividades que não agregam valor como movimentação desnecessária dos recursos.

Na execução da estrutura em um empreendimento multipavimentado a grua é o principal equipamento utilizado no transporte de recursos, além de ser utilizada em diversas atividades como montagem de forma de pilares, montagem de pré-vigas e concretagens. Devido à grande importância da grua para a produção, Fazinga (2012) recomenda a elaboração de uma rotina de operações para garantir um maior aproveitamento desse equipamento. Essa rotina deve permitir identificar os momentos em que a grua se dedica às operações de transporte para alimentar os PTs, ao auxílio da mão de obra na execução de determinado PT e os momentos oportunos para disponibilizá-la para atividades imprevistas. Kremer (2016) propõe que a rotina da grua seja elaborada por meio do estabelecimento de operações prioritárias em cada período

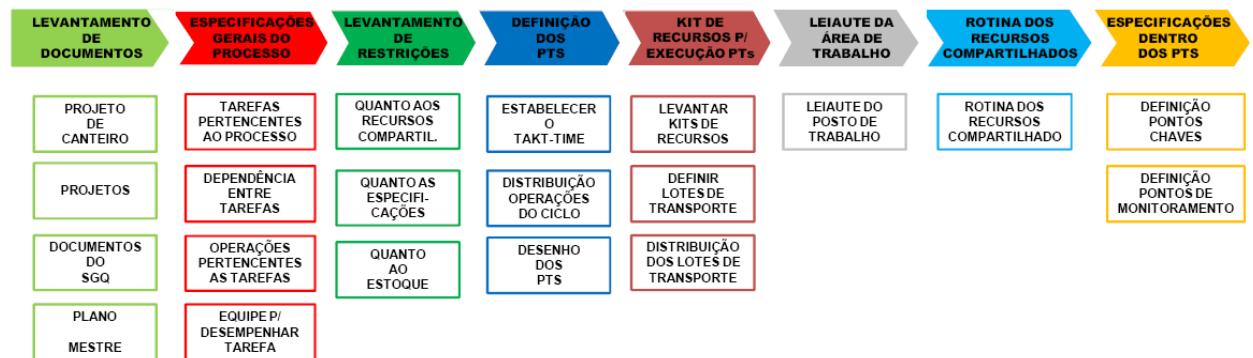
definindo qual a duração de que cada operação de transporte, buscando intercalar operações para a execução dos PTs e também para o transporte dos recursos até a área de trabalho.

Outra especificação que pode contribuir para a estabilidade na execução dos PTs é a identificação das tarefas críticas do trabalho ou dos pontos-chave, que são as tarefas que exigem uma maior precisão em sua execução, podendo ocasionar algum defeito caso não haja exatidão (FAZINGA, 2012). Esses pontos-chaves, segundo Fazinga (2012), representam aspectos rígidos do método, nos quais desvios são inaceitáveis. Dessa forma, para poder identificar esses pontos-chave, é necessário um profundo conhecimento do processo produtivo e das operações, pois, segundo Fazinga (2012), pontos-chave se referem ao momento de atuação precisa da mão de obra sobre o material, ou seja, o ponto em que processo e operação se fundem, devendo produzir um resultado específico. Para Kremer (2016), devido à necessidade de conhecimento aprofundado do processo construtivo para a especificação dos pontos-chave, deve-se identificá-los no primeiro ciclo de execução do processo que esteja sendo projetado. Segundo o autor, isso indica que a elaboração do projeto da produção não termina no momento em que a atividade é iniciada, mas que durante os primeiros ciclos o projeto deve ser revisado.

Por último, é necessário definir quais os pontos de monitoramento. Segundo Imai (2005), os pontos de monitoramento buscam verificar se as metas estão sendo atingidas. Se forem identificados desvios negativos, como o não cumprimento de alguma meta de prazo ou ocorrência de defeitos no produto, é necessário analisar as suas causas para possibilitar medidas corretivas. Quando os resultados superam as metas estabelecidas, ainda deve-se considerar como desvios ao padrão, porém, um desvio positivo. As causas, mesmo assim, devem ser investigadas para que possam servir de base para a revisão do padrão, consolidando a melhoria (FAZINGA, 2012).

No estudo de Kremer (2016), a elaboração do projeto da produção foi conduzida a partir de um esboço de modelo inicial (Figura 9) utilizado pelo grupo de pesquisa de gestão do PPGEES/UEL. Este esboço de modelo apresenta a sequência em que os elementos devem ser especificados.

Figura 9 – Esboço do modelo para elaboração do projeto da produção



Fonte: Kremer (2016)

3.5. SÍNTESE

Nesse capítulo, foram apresentados os conceitos de projeto, bem como o modelo LPDS que considera a interação entre as diversas etapas de projeto e produção. Procurou-se enfatizar que, segundo o LPDS, o projeto do sistema de produção ocorre ao longo de todo o empreendimento e que próximo à execução de determinadas etapas construtivas é necessário um maior nível de detalhamento. Para esse detalhamento, neste trabalho será utilizado o termo projeto da produção.

O projeto da produção busca estabelecer um padrão para a produção mediante a elaboração, implementação e ajustes ao longo da produção da etapa construtiva (BALLARD; HOWELL, 1997). Assim, foram abordados quais os elementos devem compor o escopo do projeto da produção.

No estudo de Kremer (2016), a especificação dos elementos do projeto da produção apresentou uma inter-relação entre elas, o que gerou retrabalho na elaboração do mesmo.

Por fim, as diretrizes encontradas na bibliografia para a elaboração e implantação do projeto da produção foram consideradas como ponto de partida para o estabelecimento de orientações e procedimentos para a elaboração desse projeto. Como síntese das diretrizes encontradas na bibliografia apresenta-se:

- a) Critérios competitivos da organização – Prazo.
- b) Identificação e definição das restrições
- c) Condições requeridas para uso dos componentes
- d) Quantidade de Estoque em processo
- e) Atividades constituintes do processo
- f) Definições dos PTs
- g) Dimensionamento da equipe de produção
- h) Levantamento dos *Kits* de Recursos
- i) Definição dos meios de transportes
- j) Definição dos lotes de transporte
- k) *Layout* do posto de trabalho
- l) Compartilhamento de Recursos
- m) Rotina dos recursos compartilhados
- n) Definição de pontos chave
- o) Definição de pontos de Monitoramento

4. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo é abordado o método de pesquisa utilizado no desenvolvimento do presente trabalho. Inicialmente, é apresentada a estratégia de pesquisa, o delineamento e as etapas do trabalho. Por fim, são descritas as fontes de evidências e as ferramentas para coleta de dados.

4.1. ABORDAGEM METODOLÓGICA

A abordagem metodológica que melhor atende a questão e os objetivos desse trabalho é a pesquisa em Ciência do Projeto, ou *Design Science*.

Design Science (DS) é a base epistemológica quando se trata do estudo do que é artificial que procura desenvolver e projetar soluções para melhorar sistemas existentes, resolver problemas reais ou, ainda, criar novos artefatos que contribuam para melhorar a atuação humana, seja na sociedade ou nas organizações (DRESCH, 2013). A autora complementa que as pesquisas desenvolvidas sob o paradigma do DS, além de rigorosas, atendendo a validade científica, devem também buscar a validade pragmática, ou seja, da utilidade.

Dresch, Lacerda e Antunes Jr (2015) mencionam que a DSR operacionaliza e fundamenta a condução de pesquisas cujo objetivo a ser alcançado é um artefato ou, ainda, uma prescrição.

March e Smith (1995) classificam os artefatos como:

- a) Constructos: é um conjunto de conceitos utilizado para descrever os problemas dentro de uma organização, buscando as respectivas soluções. Eles definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas;
- b) Modelo: é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os constructos, representando situações como problema e solução. Ele pode ser entendido como uma representação da realidade;

- c) Método: é um conjunto de passos usado para executar uma tarefa, podendo se basear em um conjunto de constructos (linguagem) e em uma representação (modelo) válida para um determinado contexto;
- d) Instanciação: é um conjunto de orientações ou regras que informam como implementar ou utilizar determinado artefato e seus possíveis resultados. Instanciações operacionalizam constructos, modelos e métodos, demonstrando a viabilidade e a eficácia destes.

A instanciação corresponde ao tipo de artefato empregado nesta pesquisa, uma vez que, os estudos conduzidos buscaram implementar as diretrizes encontradas na bibliografia e propor um conjunto de orientações e procedimentos para a elaboração e implementação do projeto da produção.

Assim como os estudos de Fazinga (2012) e Kremer (2016), a pesquisa foi conduzida na etapa estrutura de um empreendimento vertical. A escolha dessa etapa levou em conta os interesses: (a) da empresa parceira, uma vez que sendo a primeira etapa repetitiva de uma sequência extensa de outras interdependentes, o impacto no tempo de atravessamento decorrente da redução da variabilidade seria significativo; e (b) do Grupo de Pesquisa do ENGES, que entende que, no que tange à gestão da produção, essa etapa apresenta grau de complexidade elevado, tendo em vista o fato de envolver grandes equipes que realizam elevado número de tarefas interdependentes, empregando grande variedade de recursos que precisam ser mobilizados e desmobilizados em diferentes postos de trabalho. Outra característica da etapa estrutura é a repetitividade e o compartilhamento de recursos nos diferentes pavimentos, ou seja, recursos como formas, escoras e cubetas devem ser desmobilizados de um pavimento para serem utilizados em outro. Essas características e a continuidade dos estudos neste contexto devem contribuir para consolidação de um modelo robusto que, no futuro, deve ser testado em ambientes menos complexos (alvenaria de vedação, revestimento cerâmico, etc).

No que diz respeito à forma de condução das pesquisas que adotam a DSR como abordagem metodológica, Peffers et al. (2008) citam as etapas apresentadas na Figura 10.

Figura 10 – Condução da *Design Science Research*

Fonte: Peffers et al. (2008)

A primeira etapa do método é a Identificação do Problema. Nesta etapa, devem ser definidos os motivos da realização da pesquisa, considerando sua relevância e a importância do problema que está sendo investigado (PEFFERS et al., 2008). Segundo Dresch (2013), a partir da identificação do problema, é necessário identificar suas repercussões para a organização.

A segunda etapa do método é a Definição dos Resultados Esperados para o problema que está se buscando resolver. Peffers et al. (2008) afirmam que os critérios adotados para avaliar as soluções para o problema podem ser tanto quantitativos como qualitativos. Simon (1996) afirma que uma decisão ótima em um modelo simplificado raramente será ótima no mundo real. Assim, deve-se escolher entre decisões ótimas em um mundo simplificado ou decisões que apresentam resultados satisfatórios mais próximos da realidade. Isso implica em definir quais os resultados satisfatórios de duas formas: i) consenso entre as partes envolvidas no problema; ii) avanço da solução atual, comparativamente, às soluções geradas pelos artefatos anteriores (DRESCH, 2013).

A terceira etapa do método é o Projeto e Desenvolvimento. Segundo Simon (1996), é nessa etapa que deve ser construído o ambiente interno do artefato, devendo ser definidas as funcionalidades desejadas, qual será a sua arquitetura, bem como o desenvolvimento dele em si. O conhecimento teórico existente deve sustentar as soluções estabelecidas no artefato (PEFFERS et al., 2008). Assim, o principal resultado da etapa de Projeto e Desenvolvimento é o artefato em estado funcional.

A quarta etapa do método refere-se à Demonstração. Nessa etapa, o artefato é utilizado para solucionar o problema em questão. Pode-se utilizar a experimentação, a simulação, estudo de caso ou outra ferramenta necessária. Para a demonstração, é

necessário um conhecimento efetivo de como utilizar o artefato para resolver o problema (PEFFERS et al., 2008).

A quinta etapa do método é a Avaliação. Nessa etapa, deve-se observar e medir como o artefato se comporta no sentido de solucionar o problema que está sendo estudado (PEFFERS et al., 2008). Os resultados obtidos com a atuação do artefato devem ser comparados ao que havia sido definido como requisitos para a solução do problema na segunda etapa. Caso o resultado encontrado não seja satisfatório, deve-se retornar à etapa de Projeto e Desenvolvimento (PEFFERS et al., 2008).

A última etapa do método é a Comunicação. Para Peffers et al. (2008), nessa etapa, deve-se comunicar o problema que foi estudado e, também, sua importância. É apresentado, portanto, o rigor com o qual a pesquisa foi conduzida, bem como o quão eficaz foi a solução encontrada para o problema.

4.2. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A DSR pode ser conduzida sob diferentes estratégias de pesquisa (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). Para Yin (2001), são três condições que devem definir os tipos de estratégia:

- a) O tipo de questão a ser respondida;
- b) A extensão de controle que o pesquisador tem sobre o objeto pesquisado;
- c) O grau de enfoque em acontecimentos contemporâneos ou em acontecimentos históricos.

Conforme esse mesmo autor, o estudo de caso é a estratégia de pesquisa que tem maior capacidade de responder questões do tipo “como” e “por que”. Porém, outras características encontradas em certas situações também justificam a escolha da utilização do estudo de caso em detrimento de outras estratégias de pesquisa.

O estudo de caso se ajusta bem a pesquisas exploratórias/descritivas, nas quais o pesquisador busca conhecer um assunto identificado em situações reais e estudado em seu próprio contexto, tendo o pesquisador pouco ou nenhum controle sobre os eventos investigados (YIN, 2001).

Conforme apresentado anteriormente, a questão central da presente pesquisa é: “Como deve ser elaborado o projeto da produção para atividades produtivas da construção civil?”. A presente pesquisa foi desenvolvida em um contexto no qual não havia controle sobre os eventos e atitudes dos envolvidos. Entende-se, portanto, que o estudo de caso é a estratégia adequada para conduzir esse trabalho.

Para Lacerda et al (2013), os estudos de caso contribuem de duas formas para a *Design Science Research*: ampliam o conhecimento de artefatos bem sucedidos diante de determinadas classes de problemas e permitem formalizar artefatos eficazes que podem ser úteis em outras organizações.

4.3. DELINEAMENTO

O delineamento do presente trabalho foi desenvolvido considerando o modelo para condução da *Design Science Research* apresentado, anteriormente, conforme mostra a

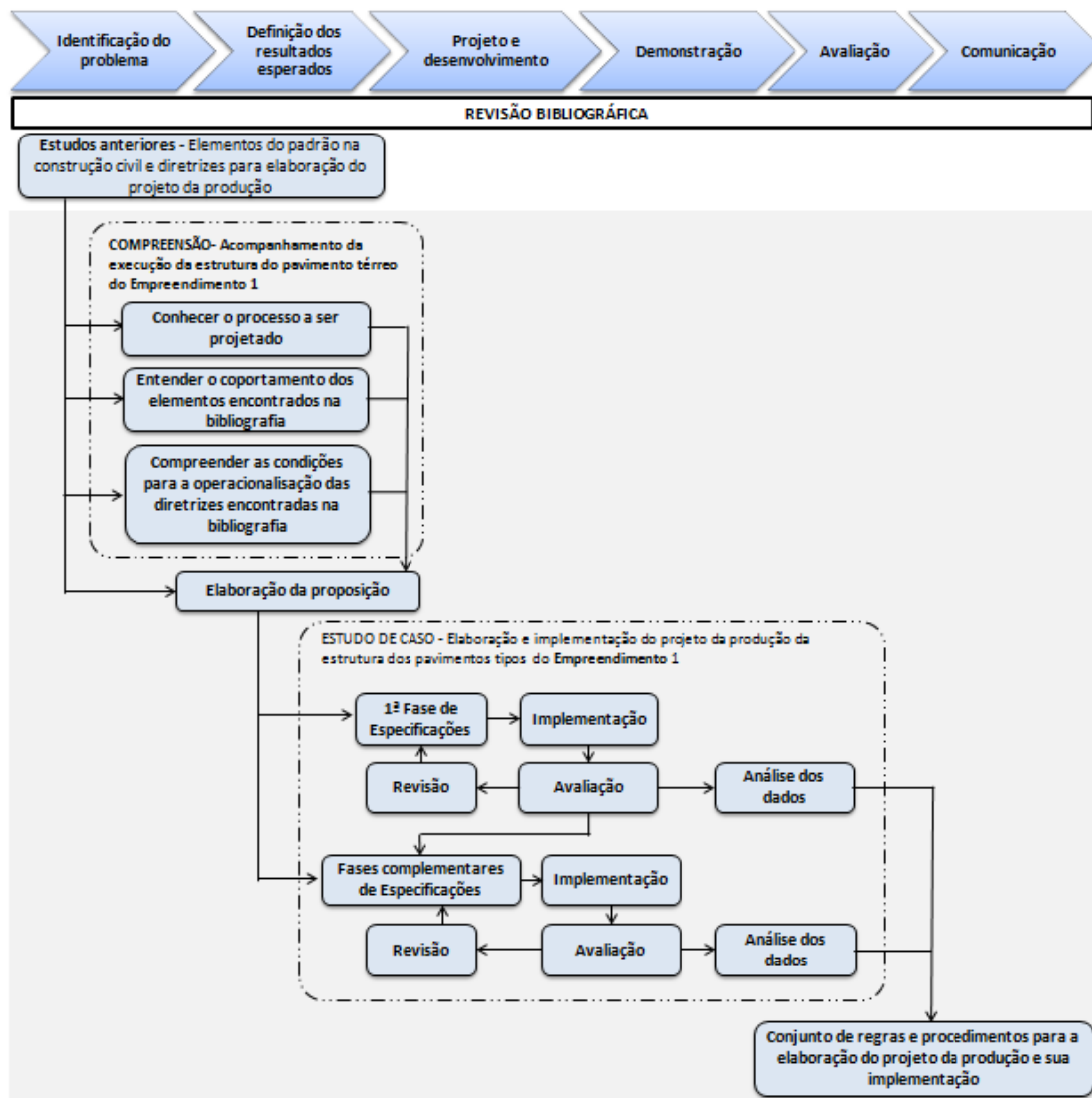
Figura 11.

4.3.1. Identificação do problema

O problema de pesquisa identificado ocorre devido à dificuldade para a elaboração e implementação do projeto da produção decorrente da inexistência de um modelo consolidado que apresente orientações e procedimentos que devem ser seguidos para facilitar o desenvolvimento deste projeto. Esse problema foi identificado a partir da revisão bibliográfica que teve como objetivo: (a) compreender a base conceitual do cenário em que o problema estava inserido; (b) entender conceitualmente os elementos encontrados na bibliografia e que deveriam ser especificados no projeto da produção;

(c) identificar as principais dificuldades para a elaboração e implementação do projeto da produção.

Figura 11 – Delineamento da pesquisa



Fonte: do autor

Complementando a revisão bibliográfica, para apoiar o entendimento do problema de pesquisa, foi realizado um acompanhamento da etapa de estrutura do pavimento térreo de um empreendimento residencial multipavimentado, chamado, nesse trabalho, de Empreendimento 1. Assim, este acompanhamento foi realizado com a intenção de entender: (a) o processo de produção da atividade para a qual seria desenvolvido o projeto; (b) como os elementos do padrão abstraídos por Fazinga (2012) se comportam em situações concretas (na produção); e (c) as condições para a

operacionalização das diretrizes encontradas na bibliografia. Para auxiliar na coleta de dados no acompanhamento inicial da produção, foi desenvolvido um protocolo conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo de coleta de dados para o acompanhamento inicial

PROTOCOLO ACOMPANHAMENTO INICIAL	
Diretrizes identificadas na Bibliografia	Pontos a serem Observados
Critérios competitivos da organização – Prazo	Como é definido o prazo de execução das atividades?
	Como esse prazo é comunicado à equipe de produção?
	Como é feito o monitoramento do prazo?
Identificação e definição das restrições	Quais as restrições identificadas?
Condições requeridas para uso dos componentes	Quais componentes requerem uma condição específica de uso que pode restringir a produção?
Quantidade de Estoque em processo	De acordo com as condições específicas dos componentes, qual o estoque necessário?
Atividades constituintes do processo	Quais as atividades pertencem ao ciclo?
	Quais as atividades não ocorrem em todos os ciclos de repetição?
	Qual a sequência de execução das atividades?
Definições dos PTs	Há uma divisão clara de pacotes de trabalho?
	A sequência de execução dos pacotes de trabalho é bem definida?
	Como os pacotes de trabalhos são distribuídos para as equipes de produção?
Dimensionamento da equipe de produção	Como são definidas as equipes de produção?
	Há compartilhamento de funcionários em mais de uma equipe?
Levantamento dos <i>kits</i> de recursos	Quais são os recursos necessários na produção?
	Quais as principais diferenças entre formatos, dimensões e características dos diversos recursos necessários?
	Como podem ser quantificados esses recursos?
Definição dos meios de transportes	Como os recursos são transportados?
Definição dos lotes de transporte	Há definição de lotes de transporte para os recursos?
	Os lotes de transportes estão relacionados aos pacotes de trabalho?
<i>Layout</i> do posto de trabalho	Como os recursos são disponibilizados na frente de trabalho?
	Há um <i>layout</i> definido na área de trabalho?
Compartilhamento de recursos	Quais são os recursos compartilhados por mais de uma atividade?
Rotina dos recursos compartilhados	Como é definida a utilização dos recursos compartilhados por mais de uma atividade?
Definição de pontos-chave	Quais os pontos-chave observados?
Definição de pontos de Monitoramento	Como é feito o monitoramento das metas estabelecidas?

Fonte: do autor

4.3.2. Definição dos resultados esperados

A partir da revisão bibliográfica e do acompanhamento inicial da produção, foi possível identificar uma inter-relação entre os elementos do projeto da produção. O estudo de Kremer (2016) e o acompanhamento inicial indicavam que haveria retrabalho nas especificações de elementos inter-relacionados em decorrência de alterações nos elementos especificados no início da elaboração do projeto da produção. Para evitar esse retrabalho e facilitar a elaboração do projeto da produção, seria necessário, inicialmente, especificar os elementos relacionados aos PTs e implementá-los na produção, possibilitando as alterações necessárias antes da especificações dos demais elementos.

Diante do exposto, foi formulada a seguinte proposição com repercussão na forma de elaboração do projeto da produção: *A elaboração do projeto da produção deve ocorrer em etapas. Devem ser especificados, primeiramente, os elementos considerados básicos, em princípio, relacionados à especificação dos PTs e sua distribuição no ciclo e, após a consolidação destes, os demais elementos poderão ser especificados.*

Por outro lado, a literatura destaca a importância de disponibilizar adequadamente os requisitos para a execução dos PTs, caso contrário, haverá variabilidade de processamento. Uma medida a ser adotada para lidar com a variabilidade decorrente de eventuais indisponibilidades de recursos (materiais, ferramentas e mão de obra) consiste no emprego de *buffers*, no caso, estoques e folga de capacidade (SPEAR E BOWEN, 1999). Por outro lado, esta medida deveria levar a *layouts* sobrecarregados (requisito espaço) e a dificuldades na rotina da grua, permanecendo os impactos na alimentação dos PTs e, conseqüentemente, dificuldades em ajustar uma distribuição dos PTs dentro do ciclo da laje. Diante desse contraponto relacionado à proposição, apresenta-se a seguinte indagação complementar:

- *Como lidar com a variabilidade decorrente da não especificação de determinados elementos na versão inicial do projeto?*

4.3.3. Projeto e desenvolvimento, demonstração e avaliação

Para as etapas de projeto e desenvolvimento, demonstração e avaliação, optou-se por um estudo de caso no mesmo empreendimento onde foi realizado o acompanhamento inicial. Esse estudo de caso buscou investigar as questões apresentadas mediante o protocolo apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Protocolo de coleta de dados para o estudo de caso

Questões chave	Variáveis
<i>Como elaborar o projeto da produção para atividades da construção civil?</i>	Tempo gasto para elaboração do PP
	Tempo para implementação do PP
	Número de reuniões
	Participantes das reuniões
	Adesão da equipe de produção às especificações
	Tempo de execução de um pavimento
	Índices do planejamento de curto prazo
<i>Como lidar com a variabilidade decorrente da não especificação de determinados elementos na versão inicial do projeto?</i>	Quantidade de funcionários na produção
	Relações entre os elementos a serem especificados
	Impacto causado na produção pela não especificação dos demais elementos
	Transporte e disponibilização dos recursos
	Dificuldades no transporte e disponibilização dos recursos

Fonte: do autor

Para avaliar a proposta apresentada, foi elaborado e implementado o projeto da produção do serviço de estrutura dos pavimentos tipos do Empreendimento 1.

Para o desenvolvimento do projeto da produção, foram realizadas reuniões semanais com o gerente da obra e com uma estagiária que o auxiliava na elaboração dos estudos. O pesquisador apresentou os elementos que deveriam ser especificados para a elaboração do projeto da produção e acompanhou as tomadas de decisões, auxiliando-os no esclarecimento dos principais conceitos necessários para sua elaboração. Em algumas reuniões, foi solicitada a presença do mestre de obra e dos encarregados para garantir que aspectos importantes da produção fossem considerados nas especificações

dos elementos do padrão. A participação desses agentes foi considerada importante e incentivada pelo pesquisador em função do destaque encontrado na literatura para a incorporação da experiência de pessoas envolvidas na execução da tarefa para qual está sendo elaborado o projeto (TREVILLIE; ANTONAKIS, 2005). Segundo a literatura, a experiência desses profissionais pode contribuir para a aplicabilidade na produção das especificações estabelecidas no projeto.

O desenvolvimento do projeto da produção iniciou no mês de julho de 2014. Foram realizadas três reuniões semanais com o pesquisador, o engenheiro da obra e a estagiária. Essas reuniões eram para esclarecimentos de conceitos e explicações dos elementos que seriam especificados ao longo da semana.

A implementação das especificações dos primeiros elementos do projeto da produção ocorreu ao longo da execução do primeiro pavimento tipo do empreendimento. Foram feitas duas revisões na primeira etapa do projeto da produção até que os demais elementos do projeto da produção fossem especificados.

Com o objetivo de registrar a aderência ao projeto por parte da equipe de produção, foi feito um acompanhamento diário pelo pesquisador. Nesse acompanhamento, foram coletados os dados por meio do preenchimento de um formulário de campo e registro fotográfico.

Os dados coletados foram utilizados na etapa seguinte de avaliação e consolidação das orientações e procedimentos para elaboração do projeto da produção.

4.3.4. Comunicação

Na etapa de comunicação, considerou-se a contribuição teórica da pesquisa estabelecida a partir de uma reflexão dos resultados obtidos. Esta reflexão ocorreu ao longo do desenvolvimento da pesquisa, buscando descrever o ambiente em que foi desenvolvida a pesquisa, os objetivos, o artefato e os mecanismos que medem os resultados (LACERDA et al., 2013). Por fim, são realizadas as análises e conclusões sobre os resultados obtidos.

4.4. FONTES DE EVIDÊNCIA

Segundo Yin (2004), a coleta de dados em estudos de caso deve se basear em diversas fontes de evidências. O mesmo autor apresenta as seguintes fontes de evidências: documentos, registro em arquivo, entrevistas, observação direta e observação participante. Para aumentar a qualidade e a confiabilidade de um estudo de caso, é preciso observar três princípios:

- a) Utilizar várias fontes de evidência, ou seja, evidências provenientes de duas ou mais fontes, mas que convergem em direção ao mesmo conjunto de fatos e descobertas;
- b) Criar um banco de dados, isto é, uma reunião formal de evidências distintas, possibilitando a recuperação de dados úteis para o estudo. Contribui, também, para a rastreabilidade dos dados da pesquisa;
- c) Estabelecer um encadeamento de evidências, isto é, estabelecer ligações explícitas entre as questões levantadas, os dados coletados e as conclusões a que se chegou.

Buscou-se, nos estudos realizados, utilizar as seguintes fontes de evidências que serão descritas a seguir.

4.4.1. Análise de documentos:

A análise de documentos busca corroborar com as evidências obtidas em outras fontes (YIN, 2004). Segundo Yin (2004), a partir da análise de documentos podem ser feitas inferências que são utilizadas como indícios a serem investigados com maior profundidade. Foram analisados os documentos do planejamento semanal da obra, buscando obter evidências quanto a relação do projeto da produção e o planejamento de curto prazo.

4.4.2. Entrevistas

Para Yin (2004), uma das fontes de informação mais importante para um estudo de caso é a entrevista. Nos estudos realizados, foram feitas entrevistas abertas e semiestruturadas, com perguntas chaves baseadas nos protocolos. Essas entrevistas foram realizadas com o gerente da obra e com os funcionários que atuam na produção (mestre de obras e encarregados das equipes). Essa fonte de dados permitiu captar informações sobre o ponto de vista dos agentes envolvidos com o projeto da produção. Essas entrevistas foram registradas em um caderno de campo para possibilitar uma futura consulta das informações.

4.4.3. Observação direta

A observação direta, proposta por Yin (2004), foi utilizada nos estudos como fonte de evidência. Nesse tipo de observação, o observador assume uma postura tão imparcial e impessoal quanto possível em relação ao objeto de pesquisa. Para auxiliar nessa coleta de dados, o pesquisador utilizou um formulário para orientar quais os pontos deveriam ser observados durante o acompanhamento da produção, tanto no acompanhamento inicial quanto no estudo de caso. A Figura 12 apresenta esse formulário.

No campo de data, hora do início e de término, buscou-se registrar os dias em que foi feito o acompanhamento para poder identificar possíveis variações como datas comemorativas, vésperas de feriado, fins de semana – que podem interferir no ritmo da produção. A condição do tempo teve como objetivo identificar os fatores climáticos que podem interferir na produção, como por exemplo, dias chuvosos.

No campo da equipe, buscou-se registrar o número de funcionários envolvidos na etapa de estrutura para possibilitar a relação de possíveis variações na disponibilidade de mão de obra com as diferenças no ritmo de produção. O registro da equipe também poderia evidenciar uma possível redução da equipe. Essa redução poderia indicar uma eliminação gradual da folga de capacidade introduzida na primeira versão do projeto.

Figura 12 – Formulário para coleta de dados de acompanhamento da produção

FICHA DE ACOMPANHAMENTO

DATA:		HORA INICIO:		HORA TERMINO:	
DIA:		CONDIÇÃO DO TEMPO:			
Equipe					
CARPINTEIRO		MEIO OFICIAL			
ARMADOR		ENCARREGADO			
OFICIAL		MESTRE			
Atividades Desenvolvidas					
Meios de Transporte					
Localização de armazenagem					
Dificuldades Encontradas					
Observações					

Fonte: do autor

No campo das atividades desenvolvidas, o objetivo foi registrar quais as atividades eram desenvolvidas no pavimento no momento da coleta de dados. No campo de meios de transporte e armazenagem, buscou-se registrar os aspectos de disponibilidade de recursos.

Em dificuldades encontradas, o pesquisador registrou situações que apresentavam inconformidade com a recomendação da bibliografia ou situações que dificultavam o processo construtivo. Por último, no campo de observações, o pesquisador registrou qualquer fato que julgou importante e que não se relacionava a nenhum dos campos anteriores.

As observações também ocorreram durante as reuniões para elaboração e revisão do projeto da produção. Nessas reuniões, o pesquisador participava apresentando os princípios e conceitos presentes na bibliografia, com o objetivo de orientar e direcionar os responsáveis pela tomada de decisões. Dados como as datas das reuniões, o processo

de tomada de decisões, os principais aspectos considerados para tomada de decisões e principais assuntos tratados durante as reuniões foram registrados no caderno de campo.

4.4.4. Registro de imagens

Segundo Yin (2004), as imagens têm a capacidade de aumentar o poder de registro das observações e são importantes registros das características do estudo de caso.

O registro das imagens foi feito com a autorização do responsável da obra com o uso de uma câmera fotográfica digital. O objetivo do registro das imagens era de ajudar a transmitir características importantes da produção. O pesquisador buscou registrar situações que dificultam a produção, detalhes do processo construtivo, ferramentas e equipamentos utilizados.

O Quadro 3 apresenta as variáveis e as fontes de evidências utilizadas no presente estudo.

Quadro 3 – Variáveis e fontes de evidências utilizadas no estudo de caso

Variáveis	Fontes de Evidência			
	Documentos	Entrevistas	Observação	Registro de imagens
Tempo gasto para elaboração do PP		X	X	
Tempo para implementação		X	X	
Número de reuniões			X	
Participantes das reuniões			X	
Adesão da equipe de produção às especificações		X	X	X
Tempo de execução de um pavimento			X	
Índices do planejamento semanal	X	X		
Quantidade de funcionários na produção		X	X	X
Relações entre os elementos a serem especificados		X	X	
Impacto causado na produção pela não especificação dos demais elementos		X	X	X
Transporte e disponibilização dos recursos			X	X
Dificuldades no transporte e disponibilização dos recursos		X	X	X

Fonte: do autor

5. RESULTADOS DA PESQUISA

Neste capítulo, apresentam-se os resultados dos estudos realizados na presente pesquisa. Inicialmente, é apresentado os resultados do acompanhamento inicial da produção da estrutura do pavimento térreo do Empreendimento 1 em que foi possível entender o processo construtivo e as principais características do ambiente de produção desse empreendimento. Os resultados desse acompanhamento inicial e os conceitos encontrados da bibliografia basearam a formulação de uma proposição que orientou a identificação das variáveis a serem verificadas e as diretrizes iniciais para o estudo de caso. Em seguida, são apresentados os resultados do estudo de caso que teve como objetivo desenvolver e implementar o projeto da produção de uma etapa considerada crítica na maioria dos empreendimentos: a execução da estrutura.

5.1. ACOMPANHAMENTO INICIAL

O contexto da pesquisa, expresso pela descrição das características da empresa, do empreendimento, do objeto da pesquisa (etapa a ser projetada) e da equipe envolvida na elaboração do projeto da produção, é o mesmo para o acompanhamento inicial e para o estudo de caso. No entanto, esse contexto será apresentado apenas no acompanhamento inicial por ser um dos propósitos desse estudo.

5.1.1. Contexto da pesquisa

5.1.1.1. Características da empresa

A empresa responsável pela construção do Empreendimento 1, chamada nesse trabalho de Empresa A, tem sua sede na cidade de Londrina-PR, é classificada pelo SEBRAE como empresa de grande porte e atua no mercado da construção civil desde 1965.

A Empresa A inclui em sua filosofia a pontualidade no cumprimento de prazos e o respeito absoluto pelo cliente. Para a empresa, o compromisso com o cumprimento de prazos garante a confiança do mercado.

5.1.1.2. Características do Empreendimento 1

O Empreendimento 1 está localizado na cidade de Londrina e consiste em uma torre com 25 pavimentos com 4 apartamentos por andar, conforme apresentado na Figura 13. O sistema construtivo do empreendimento consiste em estrutura de concreto armado com lajes nervuradas bidirecionais moldadas *in loco* com cubetas plásticas, vigas pré-moldadas no próprio canteiro de obras e pilares moldados *in loco*. A vedação é em alvenaria de blocos cerâmicos, com instalações elétricas e hidrossanitárias embutidas.

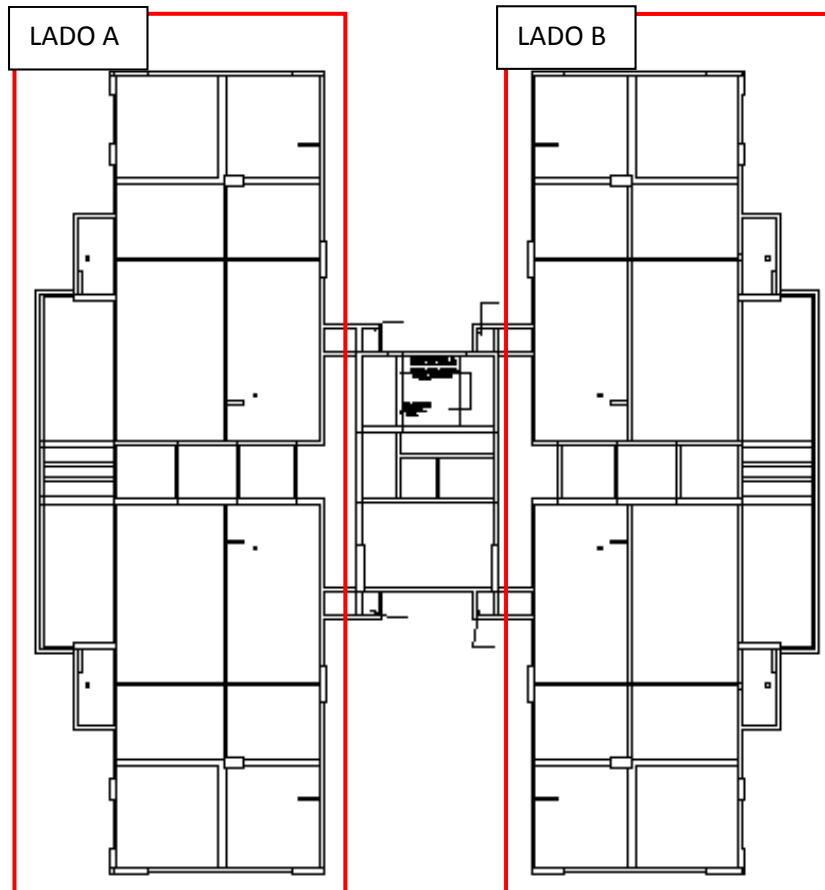
Figura 13 – Perspectiva Empreendimento do Estudo de caso



Fonte: do autor

A área do pavimento tipo era de aproximadamente 670,00 m² em forma de H, com dois lados simétricos e a caixa de escada no centro, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Planta do pavimento tipo



Fonte: do autor

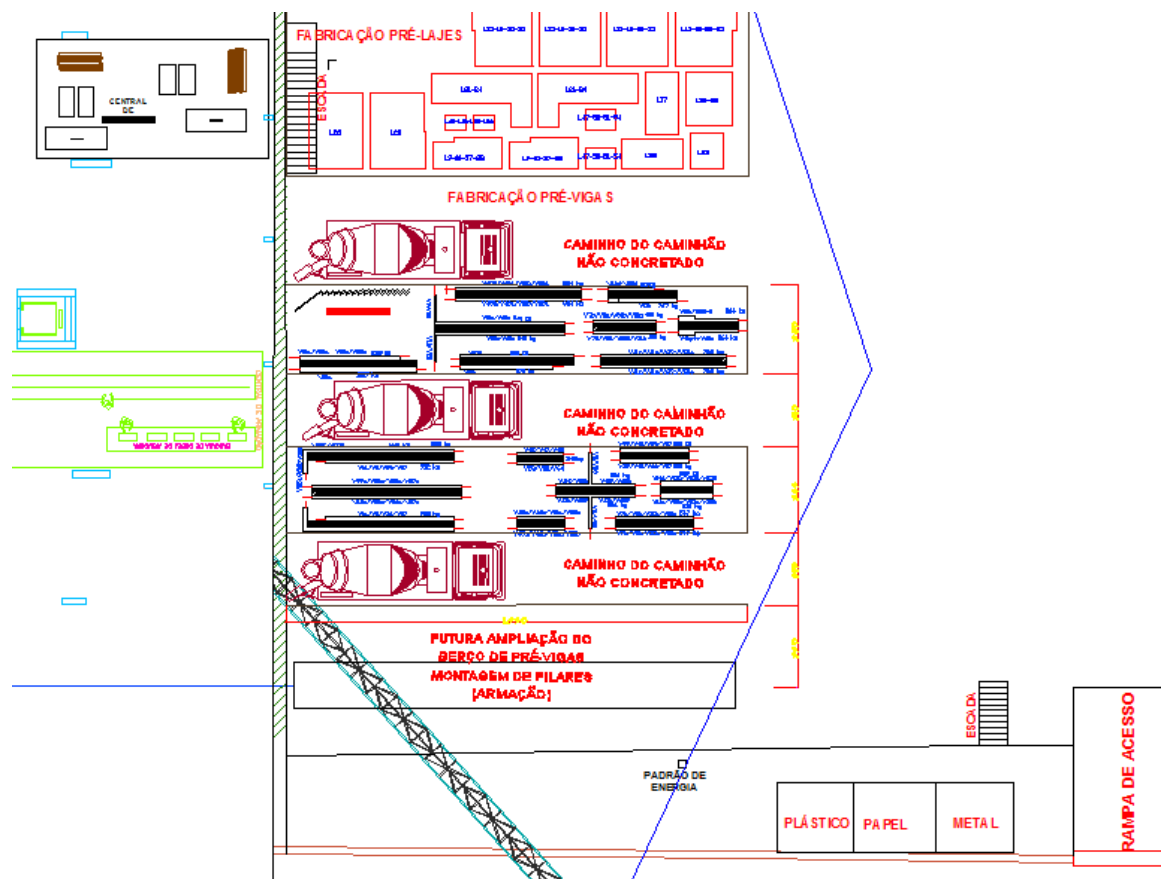
5.1.1.3. Características da etapa a ser projetada

O engenheiro da obra, juntamente com a equipe de produção, estabeleceram algumas estratégias que se assemelhavam ao escopo do projeto do sistema de produção, conforme descrito pela literatura. Apesar de não utilizar esse termo, as decisões com relação à estratégia de produção, uso e dimensionamento dos equipamentos, bem como da capacidade produtiva, estavam evidentes no projeto do canteiro de obra.

No subsolo, localizava-se a central de forma, a central de armações e os berços das pré-vigas. Pelo fato do terreno estar localizado em uma esquina, foi possível a construção de uma rampa de acesso para caminhões betoneiras realizarem a

concretagem das pré-vigas e pré-lajes, dispensando o uso da grua para realizar essa atividade, conforme mostra a Figura 15.

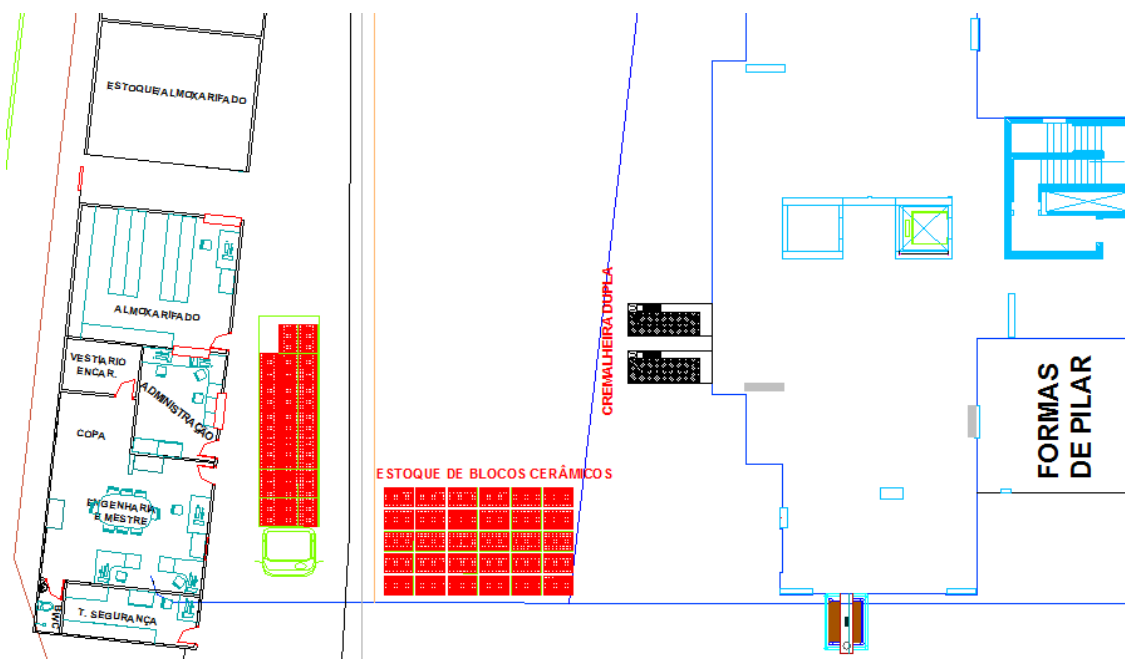
Figura 15 – Projeto do Canteiro Nível subsolo



Fonte: Empresa parceira no estudo

O pavimento de lazer encontrava-se acima do subsolo. Nele, estavam localizadas as instalações do administrativo e da engenharia, o estoque de formas de pilares, de blocos cerâmicos e de pré-vigas, conforme apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Projeto do canteiro no pavimento de lazer

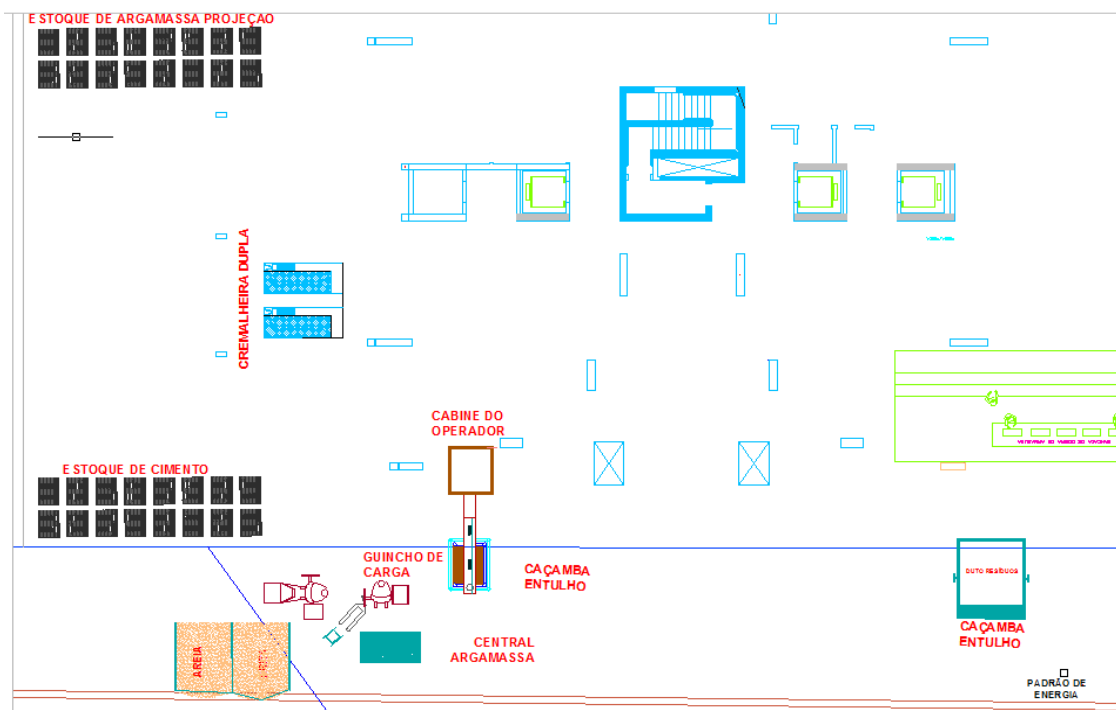


Fonte: Empresa parceira no estudo

O nível do térreo encontrava-se em execução, mas já estava prevista sua utilização para estoque de argamassa e cimento, central de argamassa e central de montagem dos *kits* hidráulicos, representado na Figura 17.

Com relação aos equipamentos, as formas dos pilares eram de estrutura metálica com chapas de compensado plastificado. O escoramento era do tipo metálico com vigas principais e secundárias, também metálicas. O assoalho de madeira compensada plastificada era fixado nas vigas do escoramento e sobre o assoalho eram alocadas as formas plásticas (cubetas). Tanto o sistema de forma quanto o de escoramento eram da própria empresa que os utiliza em diversas obras. Os equipamentos utilizados para transportes de materiais eram: uma grua, um elevador cremalheira de cabine dupla e um guincho de carga, todos da empresa A.

Figura 17 – Projeto do Canteiro Nível térreo



Fonte: Empresa parceira no estudo

5.1.1.4. Características da equipe de produção

A mão de obra do Empreendimento 1 era toda própria e a estrutura organizacional era formada por um gerente de produção com formação em engenharia civil e uma equipe administrativa de suporte. O mestre de obra era o responsável pela equipe de produção e, na etapa de estrutura, conta com três encarregados: um de forma, um de armação e um de concretagem. Cada encarregado, por sua vez, contava com sua equipe de profissionais.

É importante destacar que o engenheiro de produção, responsável pelo Empreendimento 1, tinha algum conhecimento de conceitos e princípios relacionados ao referencial empregado nessa pesquisa, tais como: impactos da variabilidade do processo produtivo, contribuição da disponibilização de recursos para estabilidade na execução da tarefa, razões e requisitos para redução de lotes de produção e trabalho em progresso e o conceito de pacote de trabalho. Além de conhecer tais conceitos, o engenheiro de produção era um incentivador na implementação dos princípios citados e tinha participação ativa e persistente na condução desse processo.

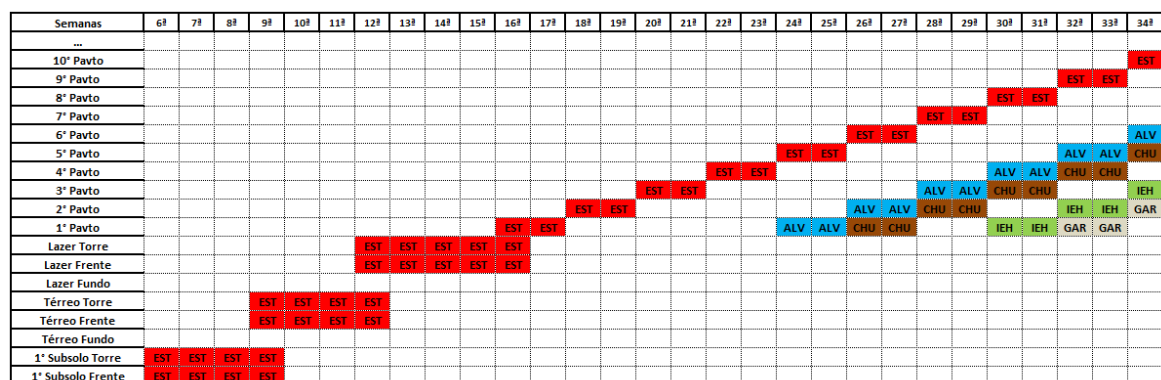
5.1.2. Condições para a operacionalização das diretrizes encontradas na bibliografia

5.1.2.1. Critérios competitivos da organização – Prazo

Devido a algumas dificuldades na etapa de fundações, a obra encontrava-se atrasada em relação ao cronograma geral da obra. No cronograma geral, o ciclo previsto para cada pavimento na etapa da estrutura era de três semanas. A equipe de engenharia esperava executar a estrutura com o ciclo de duas semanas para os pavimentos tipos, recuperando, assim, o atraso referente à etapa da fundação.

Esse plano não previa uma sobreposição das atividades em dois pavimentos em uma mesma semana, simultaneamente, então as atividades só seriam iniciadas no pavimento seguinte após a conclusão do primeiro pavimento, com exceção do pavimento subsolo, térreo e lazer, que previa uma sobreposição no início e outra no final desses ciclos, conforme mostra a Figura 18. Nesses pavimentos, a planta era diferente do pavimento tipo, apresentando uma área maior. Por isso, nesses pavimentos, enquanto uma equipe estivesse concluindo as atividades em um lado, as demais equipes poderiam iniciar as atividades no pavimento seguinte no lado já concluído.

Figura 18 – Linha de balanço da etapa da estrutura do empreendimento 1



Fonte: Empresa parceira no estudo

Esse prazo era comunicado para a equipe por meio da divulgação da linha de balanço fixada na parede da sala da engenharia. Essa linha de balanço era constantemente analisada nas reuniões do engenheiro responsável pela obra com as

equipes de produção. O monitoramento do prazo era feito por meio das datas de concretagens das lajes.

5.1.2.2. Identificação e definição das restrições

Foram identificadas as restrições para a execução da estrutura relacionadas a disponibilidade de recursos. No planejamento de médio prazo, a equipe de engenharia considerava as restrições de disponibilidade de recursos removidas quando os recursos estavam disponíveis no canteiro de obra. No entanto, foi possível observar que se os recursos não estivessem disponíveis na frente de trabalho, em condições de uso, também poderia restringir o desempenho da equipe de produção. Assim, atividades como montagens de armaduras na central de armação, montagem e concretagens das pré-vigas nas centrais de pré-vigas e montagem das formas de pilares não serão detalhadas no presente estudo. No entanto, a disponibilidade desses recursos no pavimento será considerada como uma restrição de disponibilidade de recursos na elaboração do projeto da produção.

As restrições de recursos compartilhados foram identificadas na decisão estratégica de adquirir formas de pilares para apenas meio pavimento, devido à simetria do pavimento tipo, essa situação adicionaria uma restrição na especificação dos PTs, pois não poderia ser considerado um PT de concretagem de pilares maior que meio pavimento.

Foram identificadas também restrições referentes à segurança das equipes de trabalho, que consistia nas montagens da bandeja, de guarda corpos e de gaiola para concretagem dos pilares. Se essas atividades de segurança não fossem realizadas, implicariam no impedimento de execução das atividades seguintes. Outras duas classes de restrições serão abordadas nos tópicos seguintes.

5.1.2.3. Condições requeridas para uso dos componentes

A principal condição requerida para o uso de componentes está relacionada ao tempo de cura do concreto. Em duas situações, essa condição representa restrições ao processo: (a) as pré-vigas só poderiam ser transportadas após 72 h de sua concretagem,

devido à resistência mínima exigida para o transporte e, assim, essa condição exigiria um estoque mínimo de pré-vigas para garantir a montagem dessas peças sem interrupções; (b) devido à estrutura de concreto armado também exigir um tempo de cura mínima para se autossustentar, ao longo da execução dos pavimentos, as escoras deveriam ser retiradas aos poucos, ou seja, todas as escoras só poderiam ser retiradas de um pavimento 21 dias após a concretagem do último trecho de laje e, assim, era necessário um estoque maior de escoras para execução do empreendimento. Essa condição adicionava uma maior dificuldade no transporte de escoras, pois a retirada das escoras ocorria três pavimentos abaixo do pavimento a ser executado, levando a um maior percurso vertical para o transporte.

5.1.2.4. Quantidade de Estoque em processo

Devido à condição requerida para o transporte das pré-vigas, esses elementos deveriam ter um estoque mínimo de peças para garantir o fluxo na montagem da estrutura no pavimento. Essa quantidade, segundo o engenheiro da obra, seria de pré-vigas para montagem de um pavimento. As pré-vigas eram armazenadas no pavimento térreo, onde aguardavam o momento da montagem no respectivo pavimento, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 – Estoque de pré-vigas



Fonte: do autor

Ao longo do acompanhamento, verificou-se que a colocação das armaduras de pilares no pavimento era uma atividade com pequeno tempo de duração quando comparado ao tempo de montagem dessas armaduras. Com isso, seria necessário manter um estoque mínimo de armaduras para evitar a interrupção da atividade de montagem de armadura no pavimento. O estoque mínimo de armaduras de pilares, segundo o

engenheiro da obra, era de pilares para um pavimento. Essas armaduras eram armazenadas na central de armação no subsolo, como mostra a Figura 20.

Figura 20 – Estoque de armaduras






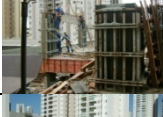







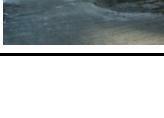


Fonte: do autor

5.1.2.5. Atividades constituintes do processo

Durante o acompanhamento da execução do pavimento térreo, foram identificadas as atividades que compõem o processo construtivo da estrutura do Empreendimento 1 e qual a sequência de execução. O Quadro 4 apresenta as atividades na sequência de execução.

Quadro 4 – Processo construtivo da estrutura do empreendimento 1

ATIVIDADES	DESCRIÇÃO	IMAGENS
Armação pilares e vigas	A primeira etapa da estrutura era a armação dos pilares e das vigas. Essa etapa era realizada na central de armação localizada no 2º subsolo. As peças produzidas eram armazenadas no mesmo nível e aguardavam o transporte até o local de uso.	
Concretagem de pré-vigas	As pré-vigas eram concretadas em berços montados no 2º subsolo, ao lado da central de armação para facilitar o transporte das armaduras. A concretagem ocorria diretamente dos caminhões, pois eles tinham acesso aos berços de concretagem.	
Locação dos eixos e colarinhos	A etapa de locação dos eixos e dos colarinhos era a primeira etapa que ocorria no pavimento. Essa etapa consistia em definir o posicionamento dos pilares. Para isso, eram fixados no piso sarrafos guia.	
Colocação de armaduras dos pilares	As armaduras eram içadas pela grua e montadas nos arranques deixados na laje. Era extremamente importante garantir o espaçamento entre a armadura e a face do colarinho.	
Montagem de forma dos pilares	As formas dos pilares eram compostas de guias mistas (metálica e madeira) e chapas de compensado plastificado. Elas eram montadas ao redor da armadura com o uso da grua e presas com agulhas e apuradores metálicos.	
Montagem de pré-vigas	As pré-vigas eram montadas com o uso da grua nas aberturas deixadas nas formas dos pilares. Para isso, era necessário o escoramento metálico e o uso de apuradores para garantir a estabilidade da peça.	
Concretagem dos pilares	Os pilares eram concretados utilizando uma caçamba de concreto içada pela grua. Era montada uma plataforma metálica no topo do pilar para possibilitar a vibração da peça com o uso de vibrador elétrico.	
Desforma dos pilares	A desforma dos pilares ocorria no mínimo após 24h para garantir a resistência necessária do concreto e evitar danos no pilar.	
Montagem dos escoramentos, assoalhos e cubetas	Os escoramentos eram montados em torres que escoram as guias metálicas que sustentam chapas de compensado plastificado que, por sua vez, sustentavam as cubetas da laje.	
Montagem de formas moldadas in loco	Em paralelo a montagem dos assoalhos, ocorria a montagem das formas moldadas in loco, feitas de compensado plastificado e sarrafos de madeira. Esses eram travados com agulha e borboleta metálicas.	
Montagem das pré-lajes	Em áreas em que a laje era menor, optou-se pelo uso de pré-lajes, que era concretada até a metade em berços, junto com as pré-vigas. Depois, eram içadas com a grua e apoiadas nas bordas das pré-vigas e em escoramentos metálicos previamente montados.	
Armação da laje	O posicionamento das barras complementares nas vigas e as armaduras da laje ocorria sobre as cubetas. O uso do espaçador e a amarração das barras garantiam o posicionamento correto das armaduras da laje.	
Passagem de tubulações	Juntamente com a armação da laje, eram posicionados os shafts de EPS e também era feita a passagem da tubulação de infraestrutura elétrica.	
Concretagem	Última etapa do ciclo: o lançamento do concreto era feito utilizando uma caçamba içada pela grua e o nivelamento era feito por meio de um nível a laser. Após lançado, o concreto era sarrafeado.	

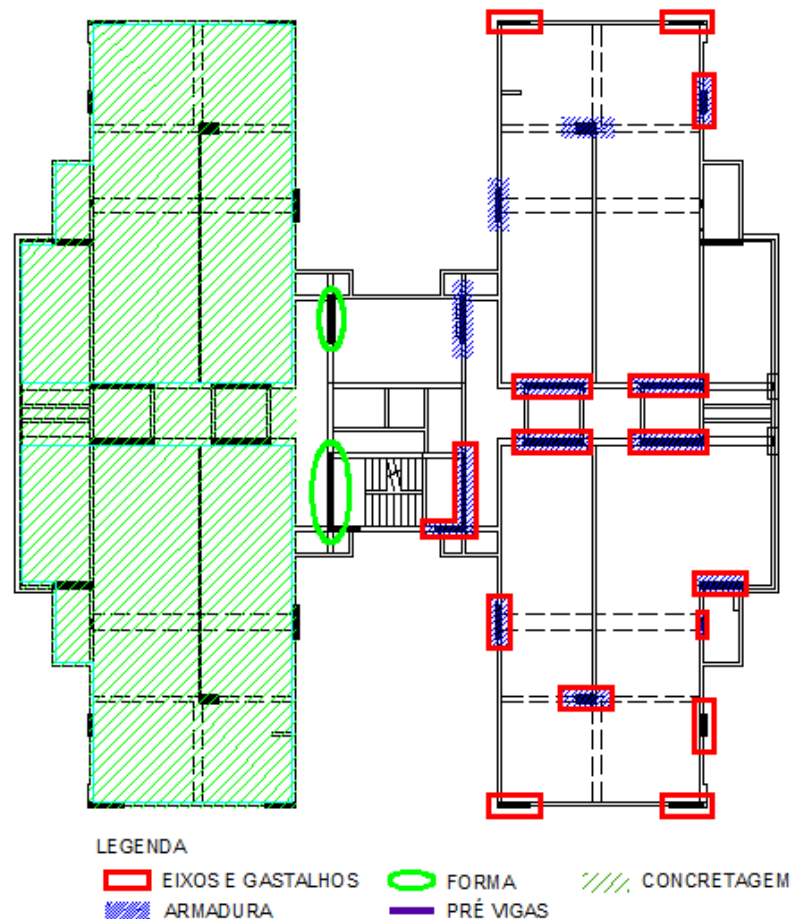
Fonte: do autor

Em reunião com a equipe de engenharia, foram identificadas as atividades que não ocorriam em todos os ciclos do pavimento tipo: montagem da escada pré-moldada, montagem das bandejas de proteção periférica e ascensão da grua.

5.1.2.6. Definições dos PTs

Observou-se uma dificuldade na sequência de execução das atividades, pois, em diversos momentos, as equipes iniciavam uma atividade em um local diferente sem ter concluído outra atividade em outro local já iniciado. Essa situação mostrou que as atividades não eram executadas segundo pacotes de trabalho⁸ claramente definidos, conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 – *Layout* do 10º dia do ciclo do pavimento térreo.



Fonte: do autor

⁸ Neste capítulo não serão apresentadas explicações relativas aos elementos que serão especificados no projeto da produção, uma vez que no capítulo 3, os mesmos já se encontram definidos.

5.1.2.7. Dimensionamento da equipe de produção

A Figura 22 apresenta a distribuição de mão de obra nas atividades do ciclo em um determinado período da execução do pavimento térreo.

Figura 22 – Distribuição de mão de obra na execução da estrutura do pavimento térreo

ATIVIDADES	EQUIPE											
	25/06/2014	26/06/2014	27/06/2014	30/06/2014	01/07/2014	02/07/2014	03/07/2014	04/07/2014	07/07/2014	08/07/2014	09/07/2014	10/07/2014
Eixos e gachalhos dos pilares	1 carp + 1 meio	1 carp + 1 meio			1 carp + 1 meio			1 carp + 1 meio				
Armação dos pilares		2 arm				2 arm						
Forma dos pilares		2 carp + 2 meio	2 carp + 1 meio			2 carp + 2 meio	1 carp + 1 meio					
Montagem das pré vigas			1 carp + 1 meio	2 carp + 1 ajud			3 carp + 1 meio	3 carp + 2 meio	1 carp + 1 meio			
Concretagem dos pilares	2 ped + 2 ajud								2 ped + 2 ajud			
Desforma dos pilares												
Montagem assoalhos e Cumbucas			2 carp + 1 ajud	3 carp + 2 ajud	4 carp + 2 ajud				3 carp + 2 ajud	4 carp + 2 ajud + 1 meio	5 carp + 1 ajud + 1 meio	5 carp + 2 ajud
Armação da laje			3 arm + 1 meio	4 arm + 2 meio	4 arm + 2 meio				4 arm + 2 meio	4 arm + 2 meio	4 arm + 2 meio	4 arm + 2 meio
Passagem de tubulações					1 ele + 1 enc + 2 ajud							1 ele + 1 enc + 2 ajud
Concretagem da laje						3 ped + 4 ajud						
n° de carpinteiros	1	3	5	5	5	3	4	4	4	4	5	5

Fonte: do autor

Ao longo do acompanhamento da execução do pavimento térreo, constatou-se que as equipes de produção não eram bem definidas, pois um mesmo trabalhador executava diferentes atividades em diferentes equipes ao longo do ciclo.

É possível observar que o número total de carpinteiros atuando no pavimento depois dos primeiros dias se estabilizou em torno dos 5 carpinteiros. Porém, ao analisar as equipes em cada atividade, nota-se uma maior variação, indicando, assim, que há o compartilhamento de mão de obra entre as atividades. Por exemplo, no dia 26/06 havia um carpinteiro executando eixos e gachalhos, no dia 27/06 não havia frente de trabalho para eixos e gachalhos, por isso esse funcionário trabalhou montando as pré-vigas.

A variação identificada no número total de carpinteiros que trabalhavam no pavimento ocorreu devido a dois fatores: ausência de funcionários e compartilhamento de mão de obra com atividades que não pertencem ao ciclo.

5.1.2.8. Levantamento dos *Kits* de Recursos

Foram observados os principais recursos necessários em cada atividade conforme apresentados na Figura 23.

Figura 23– Principais recursos por atividade

ATIVIDADE	RECURSOS
Locação eixos e pilares	Pregos e pinos
	Colarinhos de madeira ou metálicos
Colocação de armadura de pilares	Armadura
	Arame
Montagem da forma de pilares	Painéis de formas
	Agulhas e borboletas
	Desmoldante
	Aprumadores
Montagem de pré-vigas	Vigas pré concretadas
	Escoras e aprumadores
	Agulhas e borboletas
Concretagem de pilares	Concreto usinado
	Água
Montagem de escoramento, assoalho e cubetas	Gravatas
	Agulhas e borboletas
	Escoras e aprumadores
	Cavaletes de travamento
	Barras metálicas
	Chapas de compensado
	Cubetas
	Desmoldante
	Pinos e pregos
Montagem de formas <i>in loco</i>	Painéis de forma
	Escoras e aprumadores
	Desmoldante
Armação da laje	Barras de aço cortadas e dobradas
	Tela de distribuição de esforços
Passagem de tubulações	Caixas
	Eletrodutos
	Canos PVC
Concretagem da laje	Concreto usinado
	Água

Fonte: do autor

Foi identificada, ao longo do acompanhamento, uma diferença nas formas e na dimensão de cada tipo de insumo. Durante a execução das atividades, diferentes equipes demandavam diferentes insumos simultaneamente (por exemplo, na montagem da laje, a equipe de armação demandava o uso das armaduras e a equipe de montagem do assoalho, o uso de formas e cubetas).

As quantidades de recursos, como armadura, concreto, caixas, eletrodutos e formas, poderiam ser identificadas analisando o projeto estrutural. No entanto, outros

recursos, como escoras, barras metálicas, aprumadores e cavaletes de travamento, poderiam ser levantados *in loco* devido à inexistência de um projeto específico para o escoramento.

5.1.2.9. Definição dos meios de transportes

Para os recursos identificados em cada atividade, foram observados quais os principais meios de transporte utilizados pela equipe de produção. Estes estão apresentados na Figura 24.

Figura 24– Principais meios de transporte

ATIVIDADE	RECURSOS	MEIO DE TRANSPORTE UTILIZADO
Locação eixos e pilares	Pregos e pinos	Manual
	Colarinhos de madeira ou metálicos	Manual
Colocação de armadura de pilares	Armadura	Grua
	Arame	Manual
Montagem da forma de pilares	Painéis de formas	Grua
	Agulhas e borboletas	Grua com uso de caixas / Manual
	Aprumadores	Grua entre pavimentos / Manual
Montagem de pré-vigas	Vigas pré concretadas	Grua
	Escoras e aprumadores	Grua entre pavimentos / Manual
	Agulhas e borboletas	Grua com uso de caixas / Manual
Concretagem de pilares	Concreto usinado	Grua
	Água	Canalizada
Montagem de escoramento, assoalho e cubetas	Gravatas	Grua com uso de caixas / Manual
	Agulhas e borboletas	Grua com uso de caixas / Manual
	Escoras e aprumadores	Grua entre pavimentos / Manual
	Cavaletes de travamento	Grua entre pavimentos / Manual
	Barras metálicas	Grua entre pavimentos / Manual
	Chapas de compensado	Grua entre pavimentos / Manual
	Cubetas	Grua com uso de caixas / Manual
	Desmoldante	Manual
Pinos e pregos	Manual	
Montagem de formas <i>in loco</i>	Painéis de forma	Grua entre pavimentos / Manual
	Escoras e aprumadores	Grua entre pavimentos / Manual
	Desmoldante	Manual
Armação da laje	Barras de aço cortadas e dobradas	Grua entre pavimentos / Manual
	Tela de distribuição de esforços	Grua entre pavimentos / Manual
Passagem de tubulações	Caixas	Manual
	Eletrodutos	Manual
	Canos PVC	Manual
Concretagem da laje	Concreto usinado	Grua
	Água	Canalizada

Fonte: do autor

5.1.2.10. Definição dos lotes de transporte

Durante o acompanhamento foram identificados alguns lotes de transporte de recursos, principalmente para o uso da grua. No entanto, esses lotes não eram bem

definidos e apresentavam tamanhos, formas e pesos diversos, sendo montados pela equipe de produção no momento do transporte, conforme mostra a Figura 25.

Figura 25 – Lotes de transporte



Fonte: do autor

Apesar da falta de uniformidade dos lotes de transporte, eles estavam relacionados à execução das atividades, ou seja, os recursos eram disponibilizados próximo ao local onde se iniciaria a atividade seguinte. Por exemplo, apenas nos momentos que antecediam a montagem das cubetas é que estas eram disponibilizadas no pavimento.

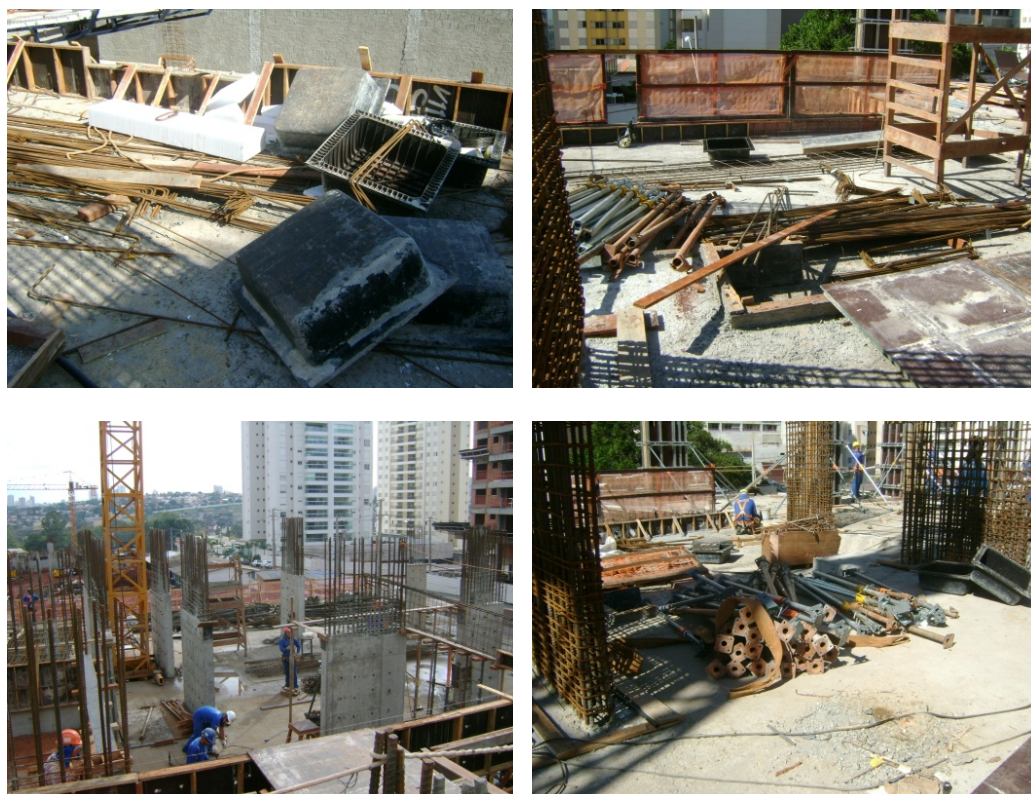
5.1.2.11. *Layout* do posto de trabalho

Não foi identificado, ao longo do acompanhamento da execução da estrutura do pavimento térreo, instrução da equipe de engenharia para a definição do *layout* da área de trabalho. Assim, a definição da disponibilização dos recursos no pavimento era de responsabilidade da equipe de produção. Não havia, no pavimento, áreas demarcadas

previamente para disposição dos recursos. A equipe de produção definia o posicionamento dos recursos no momento do transporte.

Foram verificadas algumas situações de disponibilização inadequada de recursos, com itens de diferentes formatos e tamanhos no mesmo local. Essa disposição dificultava a execução das atividades, aumentando o risco de acidentes de trabalho e prejudicando a organização no pavimento, conforme mostra a Figura 26.

Figura 26 – *Layout* da área de trabalho



Fonte: do autor

5.1.2.12. Compartilhamento de Recursos

Durante o acompanhamento, foi possível identificar que a grua era o principal equipamento compartilhado por diversas atividades, como a montagem da armadura dos pilares, formas dos pilares, montagem das pré-vigas e transporte dos recursos entre pavimentos.

Os demais recursos que seriam compartilhados entre pavimentos eram as formas e os escoramentos. Assim, era necessário considerar a desmobilização desses recursos nos pavimentos anteriores para poder disponibilizá-los no pavimento onde ocorreria a montagem da estrutura.

5.1.2.13. Rotina dos recursos compartilhados

Não foi identificada qualquer rotina pré-estabelecida para o uso da grua, principal equipamento compartilhado com diversas frentes de trabalho. As operações da grua eram definidas no momento de execução das atividades e buscavam atender todas as demandas no momento que elas surgissem. Foi possível identificar que o apoio às atividades tinha certa prioridade no uso da grua e o transporte dos recursos era feito nos momentos de ociosidade. Nas concretagens de pilares e lajes, a grua era utilizada no transporte do concreto, dificultando a utilização do equipamento para qualquer outra atividade.

5.1.2.14. Definição de pontos-chaves

Ao longo do acompanhamento da produção os funcionários apresentaram uma maior preocupação com a atividade de locação dos pilares, sendo essa atividade executado pelo carpinteiro com maior destreza e capacidade de leitura de projetos. A equipe de engenharia entendia que um desvio nessa atividade poderia ocasionar sérias dificuldades na produção.

Outra preocupação da equipe de engenharia era com a montagem das armaduras dos pilares, pois segundo o encarregado de formas se a armação do pilar fosse posicionada de maneira incorreta ocasionaria dificuldades na montagem das formas dos pilares. Assim, na montagem das armações dos pilares a equipe de armadores deveriam garantir o posicionamento centralizado com relação aos colarinhos para garantir o encaixe correto das formas dos pilares (Figura 27).

Figura 27 – Posicionamento formas dos pilares



Fonte: do autor

Nas pré-vigas o ponto-chave estava relacionado ao correto posicionamento e nivelamento das mesmas, pois caso ocorresse algum erro nessas atividades a montagem do assoalho e da laje seria comprometida.

Na montagem do assoalho o ponto-chave identificado era a montagem de formas de trechos de vigas de concreto moldado *in loco* (Figura 28), pois esses pontos eram os mais complexos e exigiam maior destreza da equipe de carpinteiros.

Figura 28 – Montagem de formas *in loco*

Fonte: do autor

5.1.2.15. Definição de pontos de monitoramento

Os principais pontos de monitoramento identificados no acompanhamento da produção eram as datas de concretagens. Havia uma preocupação constante com o dia e o período em que ocorreriam as concretagens, pois essa atividade liberaria a execução

das atividades no pavimento seguinte. Outro ponto de monitoramento identificado era a liberação da laje para a equipe de armadores.

5.1.3. Análise dos resultados obtidos no acompanhamento inicial

O acompanhamento inicial possibilitou obter conhecimento do contexto da etapa construtiva a ser projetada. Foram obtidas informações referentes ao produto, prazo, restrições, recursos e sistema construtivo. Os aspectos que foram considerados para o estabelecimento do delineamento inicial para elaboração e implementação do projeto da produção baseados na revisão bibliográfica e reforçados pelo acompanhamento inicial da produção são os seguintes:

- a) As especificações referentes aos recursos para execução da tarefa estão relacionadas aos PTs, e uma alteração na especificação do pacote de trabalho geraria alterações nas especificações seguintes. Por isso, entende-se que a especificação dos PTs deve ser consolidada por meio de um ciclo de implantação na produção e revisão. Após a consolidação dos PTs deveria se iniciar as especificações dos demais elementos.
- b) Observou-se uma grande quantidade de material transportado entre pavimentos manualmente, o que gerava paralisações constantes na execução das tarefas.
- c) Não havia diretriz quanto ao *layout* de disponibilização dos recursos para execução das tarefas. Com isso, diversas situações de disponibilização incorretas foram observadas. Essas situações de disponibilidade incorretas dos recursos geraram perdas por deslocamentos desnecessários, má utilização dos recursos e condições inseguras de trabalho.
- d) A implementação de parte dos elementos também facilitaria o levantamento de informações das especificações seguintes como, por exemplo, a possibilidade de realizar o levantamento das quantidades de recursos *in loco*. Isso garantiria uma maior precisão no levantamento, pois uma vez implementados os PTs e sua sequência de execução, as quantidades de

recursos utilizados em cada pacote de trabalho dificilmente sofreriam alguma alteração.

- e) Segundo a revisão bibliográfica, para garantir a estabilidade no processamento, é preciso garantir o fornecimento dos recursos necessários para cada PT. Foi verificado no acompanhamento inicial que, para se especificar quais os recursos necessários em cada PT, estes precisam estar estabilizados. Dessa forma, a relação entre a especificação dos PTs e dos recursos é interativa, sendo que uma especificação impacta diretamente a outra.

A partir das diretrizes encontradas na bibliografia e considerando os aspectos identificados no acompanhamento inicial, foi elaborada a proposição para a elaboração e implantação do projeto da produção que consiste em definir os elementos que compõem o projeto da produção, indicados na bibliografia, de forma evolutiva. Assim, as especificações relacionadas aos PTs e sua sequência de execução devem ser implementadas e consolidadas no primeiro ciclo de execução. As demais definições que dependem dos PTs só devem ser definidas após a consolidação das primeiras especificações relacionadas aos PTs.

5.1.4. Delineamento inicial do para elaboração do projeto da produção

Esse primeiro delineamento partiu do esboço, apresentado na Figura 9, elaborado pelo grupo de pesquisa em gestão da produção do ENGES, com base em dissertações anteriores no tema padronização. Porém, esse esboço tinha somente o propósito de orientar uma sequência geral para efetuar as especificações nas pesquisas iniciais do tema, sem a pretensão de se estabelecer uma orientação sistematizada e definitiva para elaborar o projeto da produção.

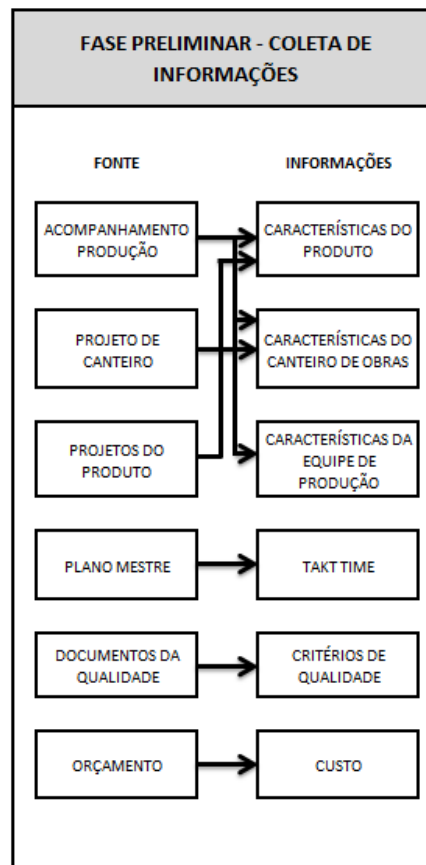
No delineamento inicial dividiu-se a elaboração e a implementação do projeto da produção em fases. Foi definida uma fase preliminar de levantamento de informações com o objetivo de compreender o contexto da produção da etapa a ser projetada.

Essas informações foram obtidas por meio do acompanhamento da produção e análise dos seguintes documentos:

- a) Projeto de canteiro: considerou-se que as definições referentes ao escopo do projeto do sistema de produção, conforme apresentado por Schramm (2004), foram definidas no projeto do canteiro de obras, sendo elas a locação das áreas de apoio à produção (estoques, central de armação, berço de pré-vigas), a localização dos principais equipamentos e o *layout* do canteiro de obras.
- b) Projetos do produto: buscou-se identificar as características físicas do produto e do sistema de produção, como número de pilares e de vigas, área do pavimento, a planta de formas da laje, detalhamento das armaduras dos pilares e vigas e o projeto de armação da laje. As características do produto são utilizadas para a especificação dos PTs e seu sequenciamento.
- c) Documentos da qualidade: a análise desses documentos forneceu os critérios de qualidade que devem ser seguidos na produção, buscando garantir a qualidade do produto final. Nesses documentos, foi possível identificar quando deveria haver o monitoramento de aspectos, como conferência de eixos, prumo, esquadro, e como deveria ser realizado esse monitoramento.
- d) Plano mestre: representado no gráfico de linhas de balanço, permitiu identificar qual era a situação com relação ao prazo de execução do empreendimento, possibilitando a identificação do tempo requerido para cada ciclo da estrutura.
- e) Orçamento: o orçamento da obra estava relacionado à disponibilidade de recursos, pois nele estavam descritos os recursos que estariam ou não disponíveis para a produção. Assim, o orçamento apresenta os custos com repercussões no uso dos recursos e, conseqüentemente, com implicações nas restrições.

A Figura 29 apresenta as principais informações que devem ser levantadas nesta fase preliminar, segundo o acompanhamento inicial, e as fontes de consultas para obtenção destas informações.

Figura 29 – Fase preliminar para elaboração do projeto da produção.



Fonte: do autor

A partir das informações obtidas, foram iniciadas as especificações dos elementos do projeto da produção. Essas especificações foram organizadas de acordo com os componentes do padrão apresentados na literatura, como meta, restrições e método.

A meta está relacionada aos critérios competitivos da empresa. O principal deles, para a empresa do estudo, era o prazo, que está relacionado ao estabelecimento do tempo de ciclo da etapa a partir do *takt-time* previsto no planejamento do empreendimento.

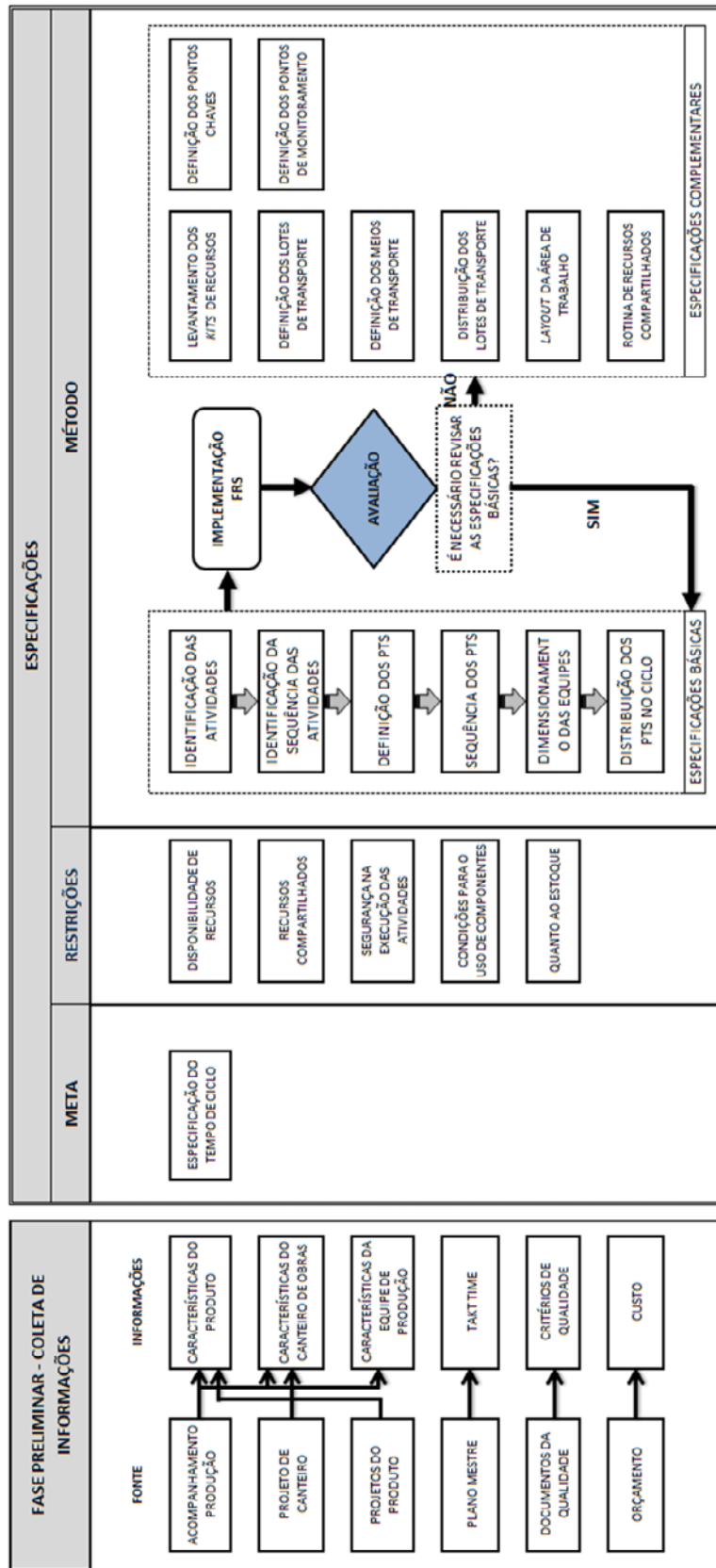
As restrições identificadas na literatura e durante o acompanhamento inicial da produção foram divididas em cinco categorias: disponibilidade de recursos, recursos compartilhados, segurança na execução das atividades, condições para o uso de componentes e em relação ao estoque. Todas as categorias de restrições devem ser consideradas nas especificações dos elementos do método, pois, segundo a literatura e confirmado no acompanhamento inicial da produção, podem limitar a capacidade produtiva do sistema de produção.

De acordo com a proposição estabelecida, as especificações foram divididas em fases e definidas de forma evolutiva. As especificações dos PTs foram consideradas prioritárias, pois, conforme identificado no acompanhamento inicial, as especificações relacionadas aos recursos dependem das especificações dos PTs. Apesar de a literatura indicar a influência da disponibilização dos recursos na variabilidade da execução das atividades, propõe-se que essas especificações ocorram após a consolidação dos PTs.

Durante a implementação das especificações dos PTs na produção, a forma de disponibilização dos recursos deveria ser definida pela própria equipe de produção

A Figura 30 apresenta o delineamento inicial para elaboração do projeto da produção.

Figura 30 – Delineamento inicial para elaboração do projeto da produção



Fonte: do autor

5.2. ESTUDO DE CASO

5.2.1. Fase preliminar

A primeira fase do delineamento teve como objetivo obter as informações referentes ao empreendimento e ao processo construtivo da etapa a ser projetada, necessárias para as especificações do projeto da produção. Nesse estudo, a fase de levantamento de informações foi facilitada, uma vez que o acompanhamento inicial da produção foi realizado no mesmo empreendimento. Dessa forma, grande parte das informações necessárias para o desenvolvimento das fases seguintes já havia sido obtida no acompanhamento inicial.

5.2.2. Especificações

A elaboração do projeto da produção ocorreu ao longo de reuniões realizadas entre o pesquisador, o engenheiro da obra, uma estagiária, o mestre de obra e os encarregados das equipes.

As especificações das metas e restrições foram desenvolvidas ao na primeira reunião.

5.2.2.1. Meta

A meta referente ao prazo está diretamente relacionada ao *takt-time* e, conforme apresentado no acompanhamento inicial da produção, era de duas semanas para cada pavimento tipo da estrutura, ou seja, dez dias trabalhados. A partir do *takt-time*, pode-se definir o tempo de ciclo que, segundo a literatura, deve ser menor ou igual ao *takt-time*. Por isso, na primeira reunião para especificações do projeto da produção, foi especificado como meta um tempo de ciclo de sete dias trabalhados. Para essa especificação, além da entrevista com o engenheiro da obra, foi consultado o plano mestre da obra.

5.2.2.2. Restrições

A identificação das restrições é a fase seguinte após a especificação da meta. Durante essa fase, foram identificadas as seguintes restrições:

- a) Disponibilidade de recursos: Os recursos não previstos no orçamento podem representar restrições para o sistema de produção. Foram adquiridas formas para apenas metade dos pilares do pavimento, pois era o que estava previsto no orçamento. Assim, foi gerada uma restrição no número de pilares que poderiam ser executados simultaneamente e só se poderia iniciar a atividade de forma de pilar na segunda metade da laje se a desforma da primeira metade fosse realizada.
- b) Recursos compartilhados: alguns recursos eram compartilhados em mais de uma frente de trabalho. Isso impôs uma restrição na execução das atividades. O exemplo mais evidente foi a utilização da grua em diversas atividades. Ou seja, durante a concretagem de determinado trecho da laje, não poderia ser feita a montagem de pré-vigas em outro trecho, pois ambas as atividades demandavam a utilização da grua. Essa restrição está relacionada às características do processo construtivo adotado.
- c) Restrições referentes à segurança das equipes de trabalho: são as montagens da bandeja, de guarda corpos e de gaiola para concretagem dos pilares. Se essas atividades de segurança não fossem realizadas, implicariam no impedimento de execução das atividades seguintes.
- d) Condições no uso dos componentes: essa restrição está relacionada a características físicas de componentes da estrutura. O primeiro exemplo dessa classe de restrição era as pré-vigas, que só poderiam ser movimentadas depois de 72 horas de concretagem, exigindo a utilização de estoques de pré-vigas. O segundo exemplo corresponde à necessidade de um tempo de cura mínima para a concretagem da laje de 21 dias para a retirada das escoras permanentes. Assim, ao longo da execução dos pavimentos, as escoras deveriam ser retiradas por partes, sendo necessário um estoque maior

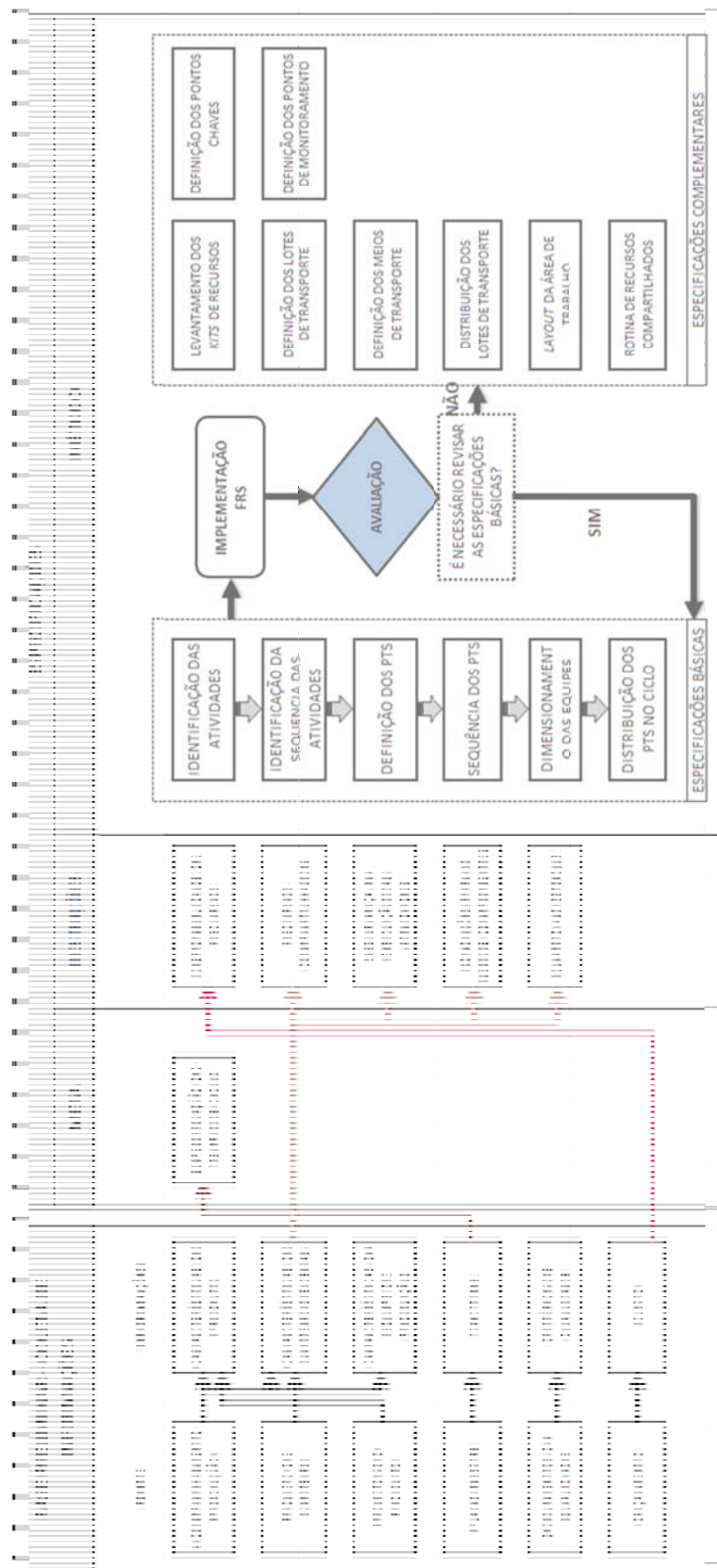
de escoras para execução do empreendimento. Essa restrição está relacionada à formação dos *kits* de recursos das escoras e o transporte dos mesmos.

- e) Restrição quanto ao estoque: durante o acompanhamento da produção e por meio de entrevista com o engenheiro da obra, foi possível identificar duas situações de restrições relacionadas ao estoque. Devido à necessidade das pré-vigas adquirirem uma resistência inicial e a velocidade de montagem ser maior do que a produção dessas peças, foi necessário um estoque intermediário desses componentes. A segunda situação que necessitava de estoque intermediário era a montagem de armaduras dos pilares, pois a colocação das armaduras no pavimento era uma atividade mais rápida que a montagem dessas armaduras na central de armação.

As relações entre as informações levantadas, as metas e as restrições são apresentadas na Figura 31.

Para facilitar o entendimento da figura empregada para representar a evolução na construção do delineamento, as setas destacadas na cor vermelha indicam as relações entre especificações do projeto da produção identificadas na etapa descrita.

Figura 31 – Relação entre as restrições, metas e as informações levantadas.



Fonte: do autor

5.2.2.3. Método

5.2.2.3.1. Primeira Fase de especificações do método

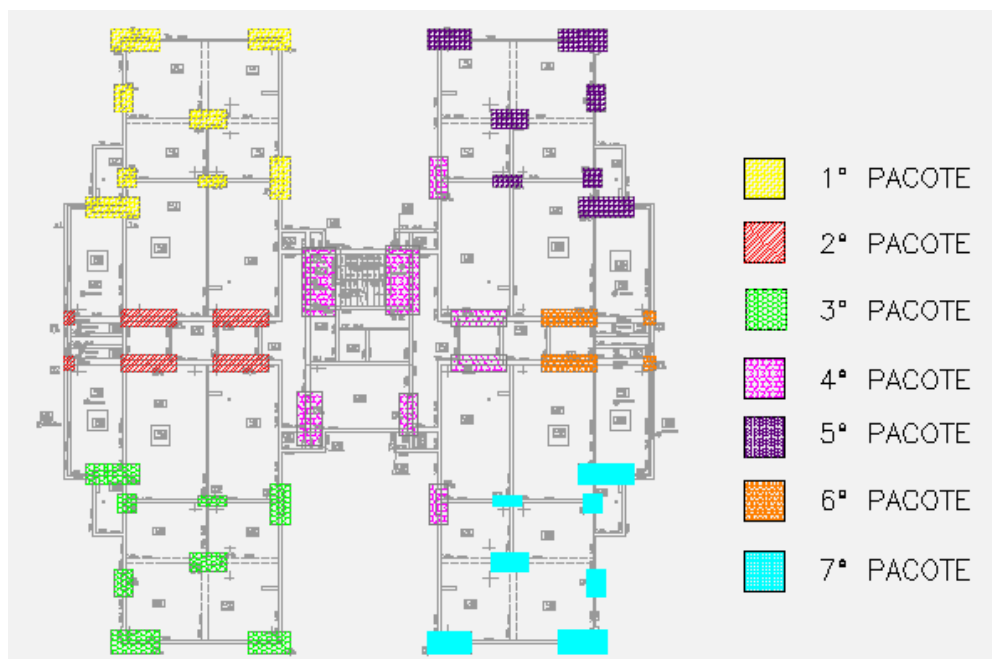
Na segunda reunião realizada na obra, iniciaram-se as especificações dos elementos relacionados ao método. De acordo com as orientações propostas para a elaboração do projeto da produção, a primeira fase de especificações do método deveria ser referente aos PTs e seu sequenciamento. As especificações dos elementos da primeira fase do método, portanto, ocorreram de acordo com a seguinte sequência:

- a) Especificação das atividades e sequência de execução: baseado nas características do empreendimento e no conhecimento do engenheiro da obra a respeito do sistema construtivo, as atividades e a sequência de execução foram especificadas como:
 - a. Eixos e galgalhos dos pilares;
 - b. Armação dos pilares;
 - c. Forma dos pilares;
 - d. Montagem das pré-vigas;
 - e. Concretagem dos pilares;
 - f. Desforma dos pilares;
 - g. Montagem assoalhos e cubetas;
 - h. Armação da laje;
 - i. Passagem de tubulações;
 - j. Concretagem da laje;
 - k. Desforma do assoalho.

- b) Especificação dos PTs e seu sequenciamento: foram consideradas, para essa especificação, as características do produto e do sistema construtivo. Conforme Coelho (2003), a especificação dos PTs envolve três aspectos: ação, elemento e local. A ação refere-se às atividades descritas anteriormente e os elementos definidos foram pilares, vigas e laje. Para o

local, buscando a atuação em lotes menores, dividiu-se o pavimento em sete regiões de pilares, conforme mostra a Figura 32.

Figura 32 – Pacotes de trabalho dos pilares



Fonte: do autor

Dessa forma, as atividades dos pilares (eixos, armação, forma, concretagem e desforma) foram desdobradas em sete PTs, por exemplo, a execução dos eixos e gachalhos deveria ser realizada nos oito pilares indicados na cor amarela e, ao iniciar o segundo pacote de trabalho de eixos e gachalhos, representado pela cor vermelha, o primeiro pacote de trabalho de armação de pilar seria iniciado, e assim consecutivamente.

A partir da especificação dos PTs dos pilares, foram especificados os PTs de montagem das pré-vigas, conforme a Figura 33.

Figura 33 – Pacotes de trabalho pré-vigas

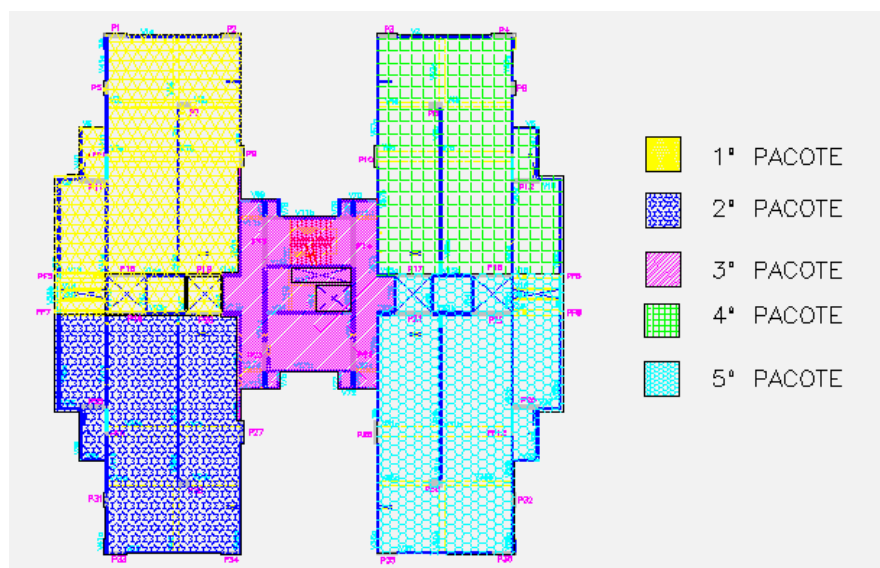


Fonte: do autor

A especificação dos PTs das pré-vigas permitiria que, ao concluir o primeiro pacote de trabalho de forma dos pilares, o primeiro pacote de trabalho de montagem de pré-vigas pudesse ser iniciado.

Seguindo as divisões anteriormente definidas, as atividades das lajes (escoramento, assoalho, armação, instalações e concretagem) foram divididas em cinco pacotes, conforme mostra a Figura 34.

Figura 34 – Pacotes de trabalho das lajes



Fonte: do autor

O objetivo da especificação dos PTs (redução do tamanho do lote) é de redução do tempo de ciclo. A Figura 35 apresenta um comparativo da execução de um lado do pavimento, considerando primeiramente a execução do lote do tamanho de meio pavimento e, depois, considerando a divisão dos PTs, conforme apresentado anteriormente.

Figura 35 – Comparativo do ciclo referente ao tamanho dos lotes

TAMANHO DO LOTE: 1/2 PAVIMENTO																						
Atividades	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5		Dia 6		Dia 7		Dia 8		Dia 9		Dia 10		Dia 11	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Eixos e Gestalhos Lado A																						
Armação dos pilares																						
Forma dos pilares																						
Montagem das pré-vigas																						
Concretagem dos pilares																						
Desforma dos pilares																						
Montagem assoalhos e Cubetas																						
Armação da laje																						
Passagem de tubulações																						
Concretagem da laje																						
Desforma do assoalho																						

TAMANHO DO LOTE: 1/4 PAVIMENTO																						
Atividades	Dia 1		Dia 2		Dia 3		Dia 4		Dia 5		Dia 6		Dia 7		Dia 8		Dia 9		Dia 10		Dia 11	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
Eixos e Gestalhos PT 1																						
Eixos e Gestalhos PT 2																						
Eixos e Gestalhos PT 3																						
Armação dos pilares PT 1																						
Armação dos pilares PT 2																						
Armação dos pilares PT 3																						
Forma dos pilares PT 1																						
Forma dos pilares PT 2																						
Forma dos pilares PT 3																						
Montagem das pré-vigas PT 1																						
Montagem das pré-vigas PT 2																						
Montagem das pré-vigas PT 3																						
Concretagem dos pilares PT 1, 2 e 3																						
Desforma dos pilares PT 1, 2 e 3																						
Montagem assoalhos e Cubetas PT 1																						
Montagem assoalhos e Cubetas PT 2																						
Montagem assoalhos e Cubetas PT 3																						
Armação da laje PT 1																						
Armação da laje PT 2																						
Armação da laje PT 3																						
Passagem de tubulações PT 1																						
Passagem de tubulações PT 2																						
Passagem de tubulações PT 3																						
Concretagem da laje																						
Desforma do assoalho																						

Fonte: do autor

A divisão dos PTs em lotes menores também facilitaria o monitoramento, uma vez que associa a execução de um conjunto de elementos de uma parte do produto (lote) a um tempo determinado dentro do ciclo (período: manhã ou tarde).

- c) Dimensionamento das equipes: considerando as características da mão de obra, as características do sistema construtivo e a divisão dos PTs, o engenheiro da obra especificou as equipes para cada atividade, conforme a Figura 36.

Figura 36 – Equipes para a execução dos PTs

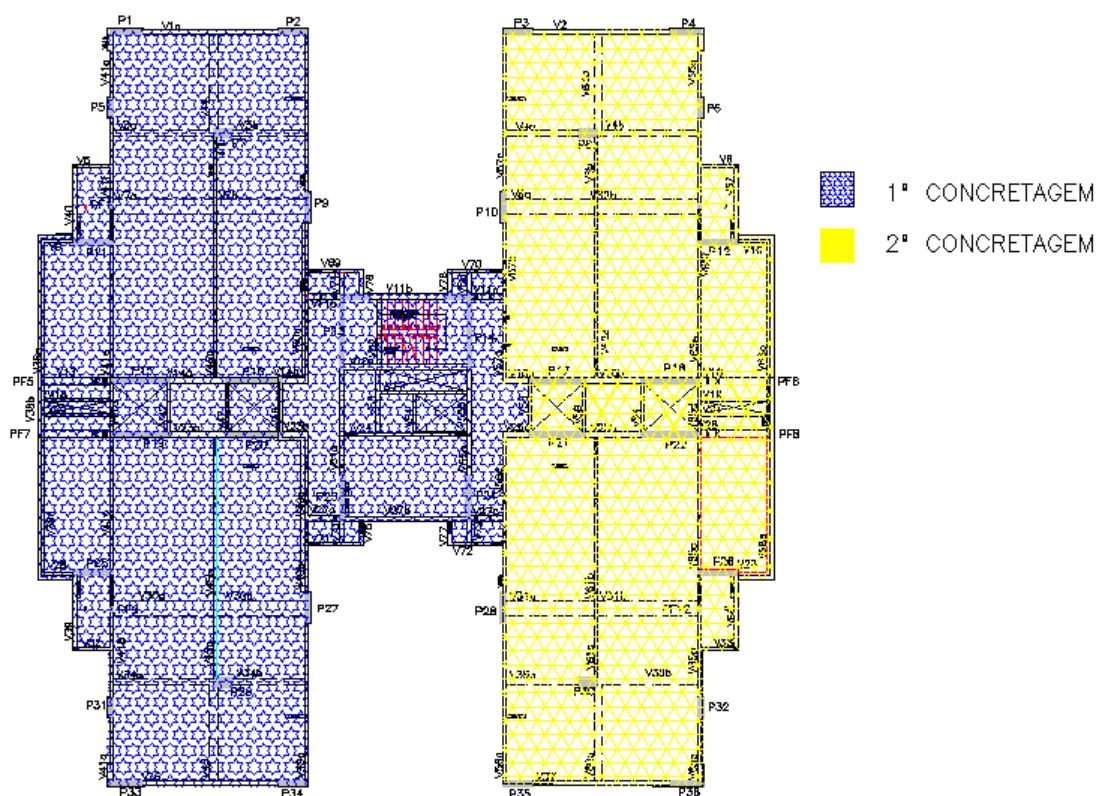
PTs	EQUIPE
Eixos e gachalhos dos pilares	1 Carp. + 1 Meio Oficial
Armação dos pilares	2Arm
Forma dos pilares	2Carp + 2 Meio Oficial
Montagem das pré-vigas	2Carp + 1 Ajudante
Concretagem dos pilares	2Ped + 1 Ajudante
Desforma dos pilares	2Carp + 2 Meio Oficial
Montagem assoalhos e Cubetas	4Carp + 4 Ajudantes
Armação da laje	4Arm + 2 Ajudantes
Passagem de tubulações	1 Ele + 1 Ajudante + 1
Concretagem da laje	4Ped + 4 Ajudantes
Desforma do assoalho	2 Ajudantes

Fonte: do autor

Esse dimensionamento das equipes buscou estabelecer uma equipe que conseguisse executar cada pacote de trabalho em um turno, facilitando o monitoramento da produção. Essas equipes deveriam cumprir seus PTs e, em momentos que não houvesse frente de trabalho, a equipe iria auxiliar em outro PT. Por exemplo, se todos os PTs de armação de pilar estivessem concluídos, a equipe responsável por esses PTs deveria auxiliar na armação da laje, havendo, assim, uma interação entre as equipes de diferentes PTs. Essa interação entre as equipes buscava garantir um fluxo contínuo, tanto no processo quanto na operação.

- d) Distribuição dos PTs no ciclo: Na semana seguinte, na terceira reunião para elaboração do projeto da produção, o engenheiro da obra informou que fez uma reunião com o mestre de obras e os encarregados para especificar a primeira versão do ciclo. Nessa reunião com os encarregados, foram abordados os seguintes itens: (a) prazo: segundo os encarregados, o prazo de sete dias seria muito exíguo, pois as equipes ainda não estavam completas; (b) divisão das atividades de assoalho e cubetas: essa atividade foi dividida para facilitar o acompanhamento da execução; (c) foi definida a junta de concretagem da conforme a Figura 37; (d) aumento de dois dias no tempo de atravessamento da estrutura: o engenheiro da obra optou por estabelecer como meta um tempo de atravessamento de nove dias para a execução da estrutura de um pavimento, e com uma sobreposição entre os pavimentos seria possível atingir o tempo de ciclo de 7 dias.

Figura 37 – Divisão da concretagem da laje



Fonte: do autor

Para a distribuição dos PTs no ciclo, foi utilizado um quadro em que as colunas representam os dias do ciclo e as linhas dividem os dias em dois períodos, manhã e tarde, para facilitar o acompanhamento da execução dos PTs. Os PTs são representados por caixas com cores diferentes para cada tipo de atividade e dispostas nos períodos. As cores denotam as atividades realizadas por uma determinada equipe e ajudam a identificar a continuidade ou descontinuidade no fluxo de trabalho (eixo da operação). Outra possibilidade dessa forma de representação é a visualização de incompatibilidade de atividades desenvolvidas no mesmo período devido à existência de restrição. Por exemplo, é necessário evitar colocar montagem de pré-vigas e concretagens no mesmo período, pois ambas as atividades requeriam o uso da grua. Nos períodos em que não foi possível evitar essa situação foram considerados períodos que demandariam uma maior atenção no gerenciamento dos recursos compartilhados.

A primeira versão do ciclo é apresentada na Figura 38.

Figura 38 – Primeira versão do ciclo

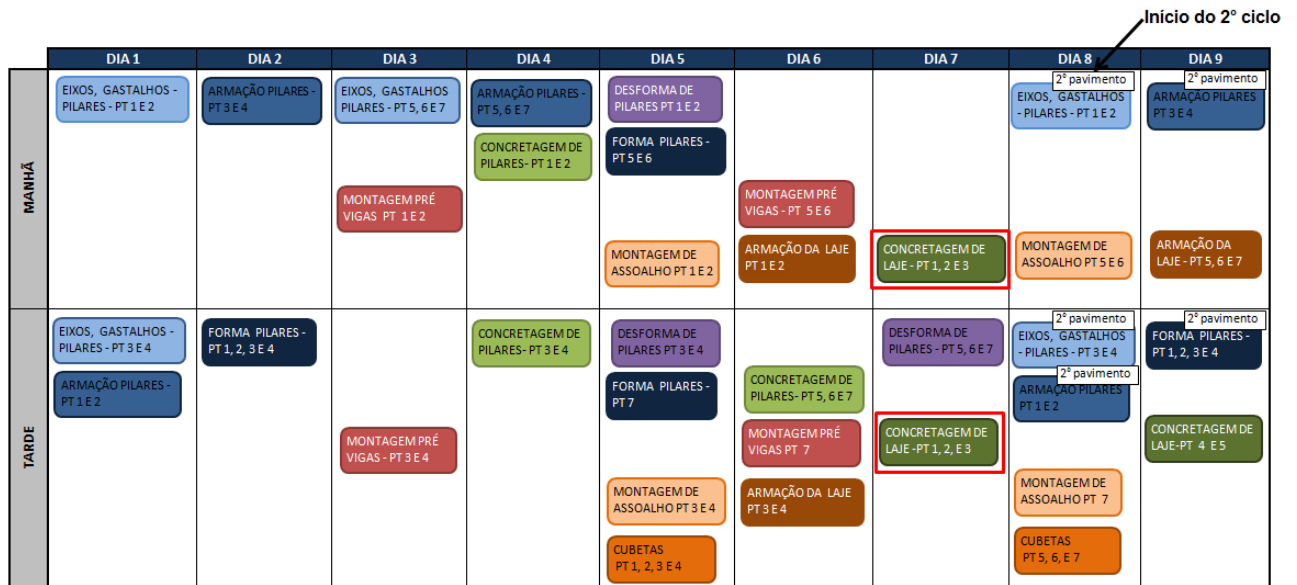
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9
MANHÃ	EIXOS, GASTALHOS - PILARES - PT 1 E 2	ARMAÇÃO PILARES - PT 3 E 4	EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 5, 6 E 7 MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 1 E 2	ARMAÇÃO PILARES - PT 5, 6 E 7 CONCRETAGEM DE PILARES - PT 1 E 2	DESFORMA DE PILARES PT 1 E 2 FORMA PILARES - PT 5 E 6 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 1 E 2	MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 5 E 6 ARMAÇÃO DA LAJE - PT 1 E 2	CONCRETAGEM DE LAJE - PT 1, 2 E 3	MONTAGEM DE ASSOALHO PT 5 E 6	ARMAÇÃO DA LAJE - PT 5, 6 E 7
TARDE	EIXOS, GASTALHOS - PILARES - PT 3 E 4 ARMAÇÃO PILARES -	FORMA PILARES - PT 1, 2, 3 E 4	MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 3 E 4	CONCRETAGEM DE PILARES - PT 3 E 4	DESFORMA DE PILARES PT 3 E 4 FORMA PILARES - PT 7 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 3 E 4 CUBETAS PT 1, 2, 3 E 4	CONCRETAGEM DE PILARES - PT 5, 6 E 7 MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 7 ARMAÇÃO DA LAJE - PT 3 E 4	DESFORMA DE PILARES - PT 5, 6 E 7 CONCRETAGEM DE LAJE - PT 1, 2, E 3	MONTAGEM DE ASSOALHO PT 7 CUBETAS PT 5, 6, E 7	CONCRETAGEM DE LAJE - PT 4 E 5

Fonte: do autor

A primeira versão do ciclo foi proposta com um tempo de atravessamento de nove dias, isto é, seriam necessários nove dias trabalhados para executar todas as atividades em um pavimento. Com a concretagem de três PTs da

laje ocorrendo no sétimo dia, era possível iniciar as atividades do próximo pavimento já na manhã do oitavo dia do ciclo, conforme a Figura 39.

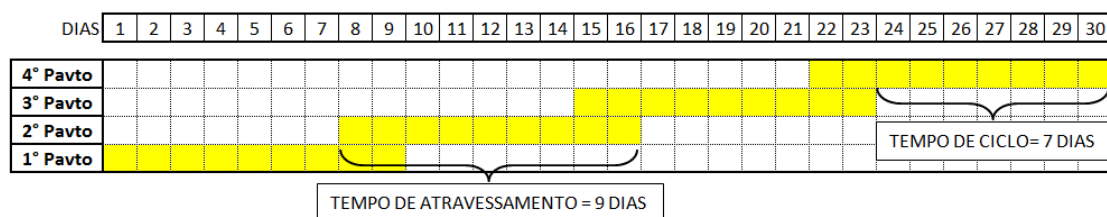
Figura 39 – Sobreposição das atividades dos pavimentos



Fonte: do autor

Essa sobreposição faz com que o tempo de ciclo seja de sete dias, ou seja, a cada sete dias, um pavimento seria concluído. O tempo de atravessamento continuaria sendo de nove dias, no entanto, em dois dias estaria ocorrendo atividades em dois pavimentos simultaneamente. A Figura 40 mostra a diferença entre o tempo de atravessamento e o tempo de ciclo.

Figura 40 – Tempo de atravessamento e tempo de ciclo

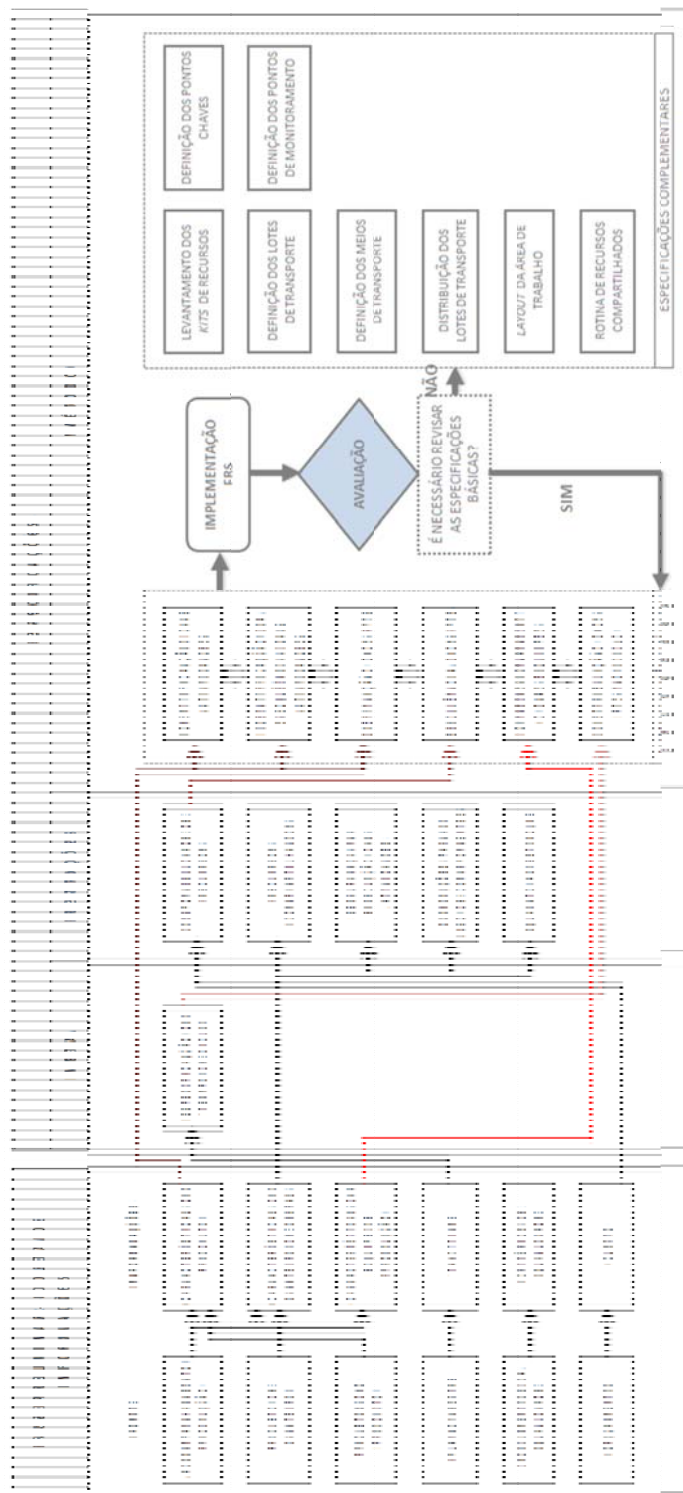


Fonte: do autor

A montagem das escadas pré-moldadas e a ascensão da grua são atividades que não se repetem em todos os ciclos. Por isso, foi definido que seriam feitas aos sábados, dia não considerado no ciclo, como forma de evitar a interferência nas demais atividades. No entanto, se não fossem executadas, adicionariam restrições à produção.

A Figura 41 apresenta as relações entre as informações, meta e restrições com a especificações básicas, apresentadas ao longo do texto.

Figura 41 – Relação das informações, meta e restrições com as especificações básicas



Fonte: do autor

Após a conclusão da distribuição dos PTs ao longo do ciclo, as especificações dos elementos foram implantadas na produção para avaliar a sua aplicabilidade e aderência da equipe de produção. Foi definido, ao final da terceira reunião, que o pesquisador faria o acompanhamento da produção do primeiro pavimento tipo.

5.2.2.3.2. Implantação das definições iniciais da primeira fase

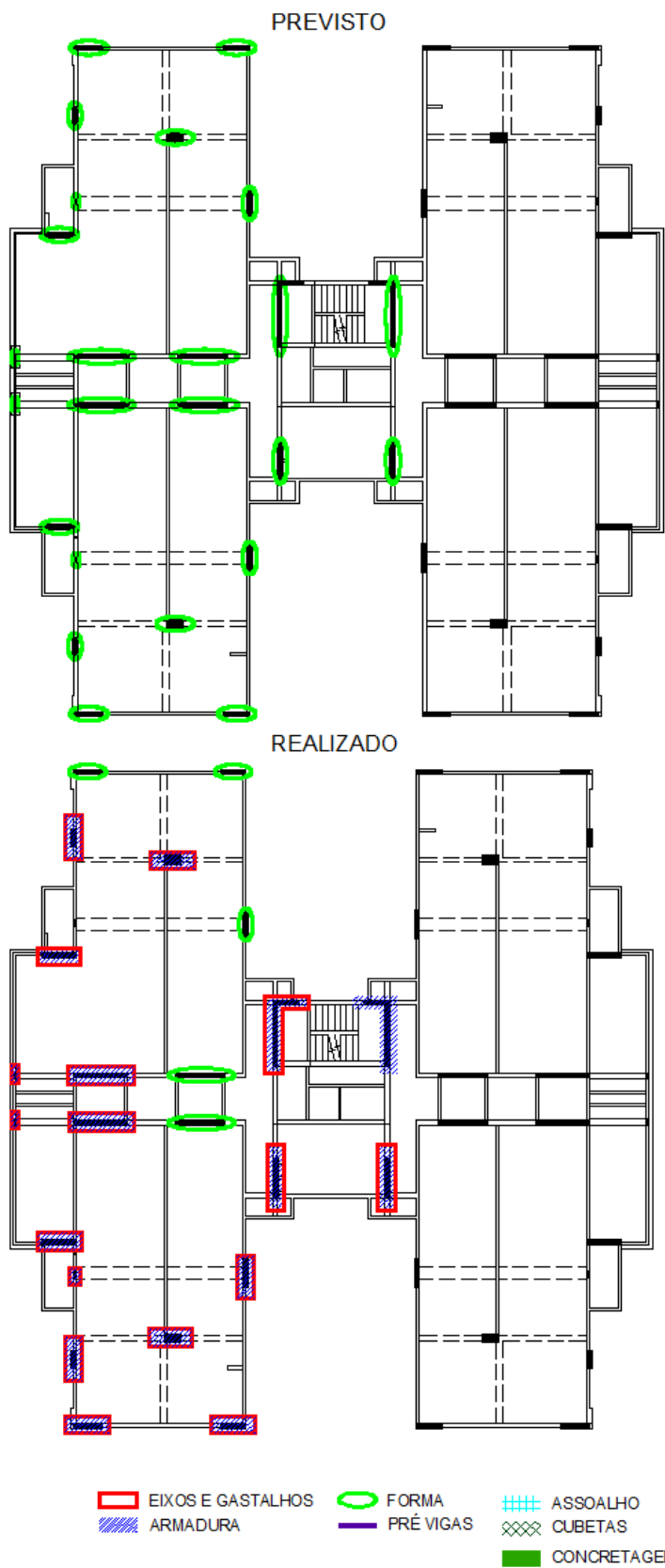
A implementação foi iniciada na execução do primeiro pavimento tipo, em caráter experimental, com o intuito de verificar a adequação das especificações estabelecidas pela equipe, caracterizando um *first run study*. Para esclarecimento a respeito dos PTs e da sequência de execução, foram entregues aos encarregados e ao mestre de obra a última versão do ciclo e o *layout* com a definição dos PTs.

Durante a execução do primeiro ciclo, o pesquisador acompanhou a produção para verificar a aplicabilidade do sequenciamento estabelecido no ciclo. Nesse acompanhamento, foram verificadas as seguintes situações:

- a) Os PTs não foram completamente seguidos. A produção iniciou as atividades pelo lado correto, porém não houve término na execução dos PTs, ou seja, serviços do segundo PTs foram iniciados sem que o primeiro PT estivesse concluído, como mostra o *layout* do primeiro dia do ciclo, representado na Figura 42.

Ao serem questionados, os funcionários informaram que, devido ao fato de ser o primeiro ciclo, as formas dos pilares ainda não estavam todas pré-montadas (a pré-montagem das formas dos pilares consiste na união das guias metálicas com as chapas de madeira). Por isso, segundo eles, foram montadas no pavimento as formas dos pilares que já estavam pré-montadas. Essa situação implicou em variabilidade nos PTs, pois a sequência especificada no projeto não foi realizada. Isso gerou, portanto, um volume maior de trabalho em progresso, contribuindo para um maior tempo de ciclo.

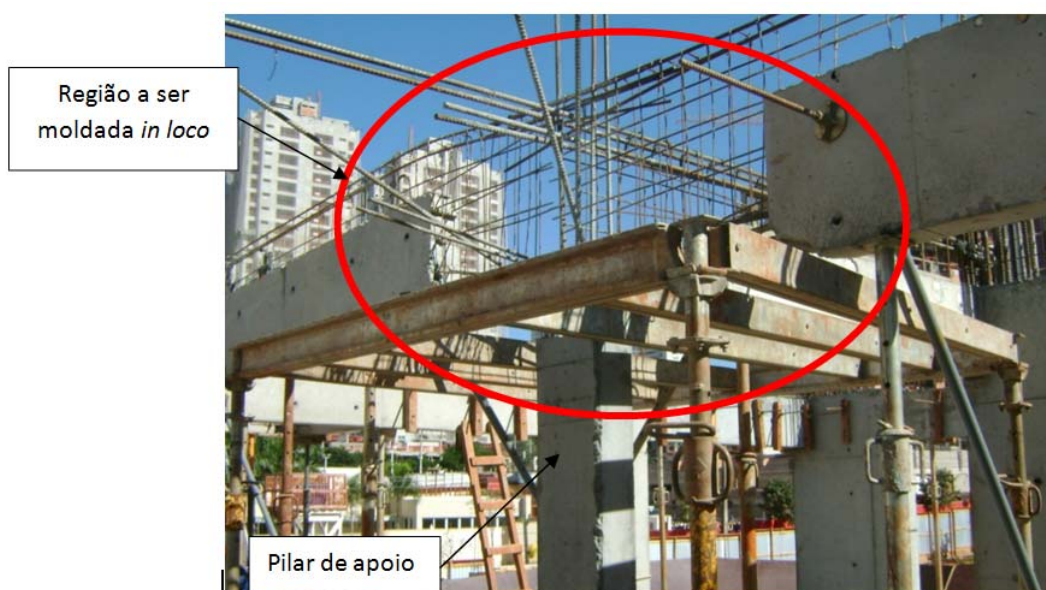
Figura 42 – *Layout* das atividades concluídas no terceiro dia do ciclo



Fonte: do autor

- b) Houve mudança na sequência das atividades em alguns pilares devido à elevada complexidade de montagem das pré-vigas nos pilares PF2, PF3, PF10, PF11. Sobre esses pilares, há o encontro de quatro pré-vigas, dificultando a compatibilização das armações delas. Como solução, adotou-se a sequência de concretar o pilar antes da montagem das pré-vigas e fazer com que as extremidades delas fossem moldadas *in loco*, conforme Figura 43. Nesses trechos, também foi necessário maior tempo do que previsto inicialmente. Essa situação indica que a implementação de parte das especificações contribuiu para a identificação de dificuldades construtivas não previstas em projeto. Essas dificuldades identificadas interferem no dimensionamento e no sequenciamento dos PTs.

Figura 43 – Montagem das pré-vigas sobre os pilares PF2, PF3, PF10, PF11



Fonte: do autor

- c) Os equipamentos de proteção coletiva (EPC), como guarda-corpos e bandeja de proteção, foram considerados como restrições, ou seja, se essas atividades não fossem executadas, poderiam impedir a execução das atividades do ciclo.

O engenheiro da obra, portanto, optou por executar essas atividades com uma equipe independente das equipes envolvidas com a execução das atividades descritas no ciclo.

- d) A equipe de produção identificou a necessidade de alterar a sequência de execução dos PTs devido ao posicionamento da grua. Para garantir uma melhor resistência da estrutura em que será apoiada a grua, é necessário iniciar as atividades do lado em que ela está instalada. Isso indica uma relação entre o projeto de canteiro com a definição da sequência dos PTs. Assim, é necessário considerar o posicionamento dos equipamentos no canteiro de obras, pois o sequenciamento está relacionado a esse posicionamento.

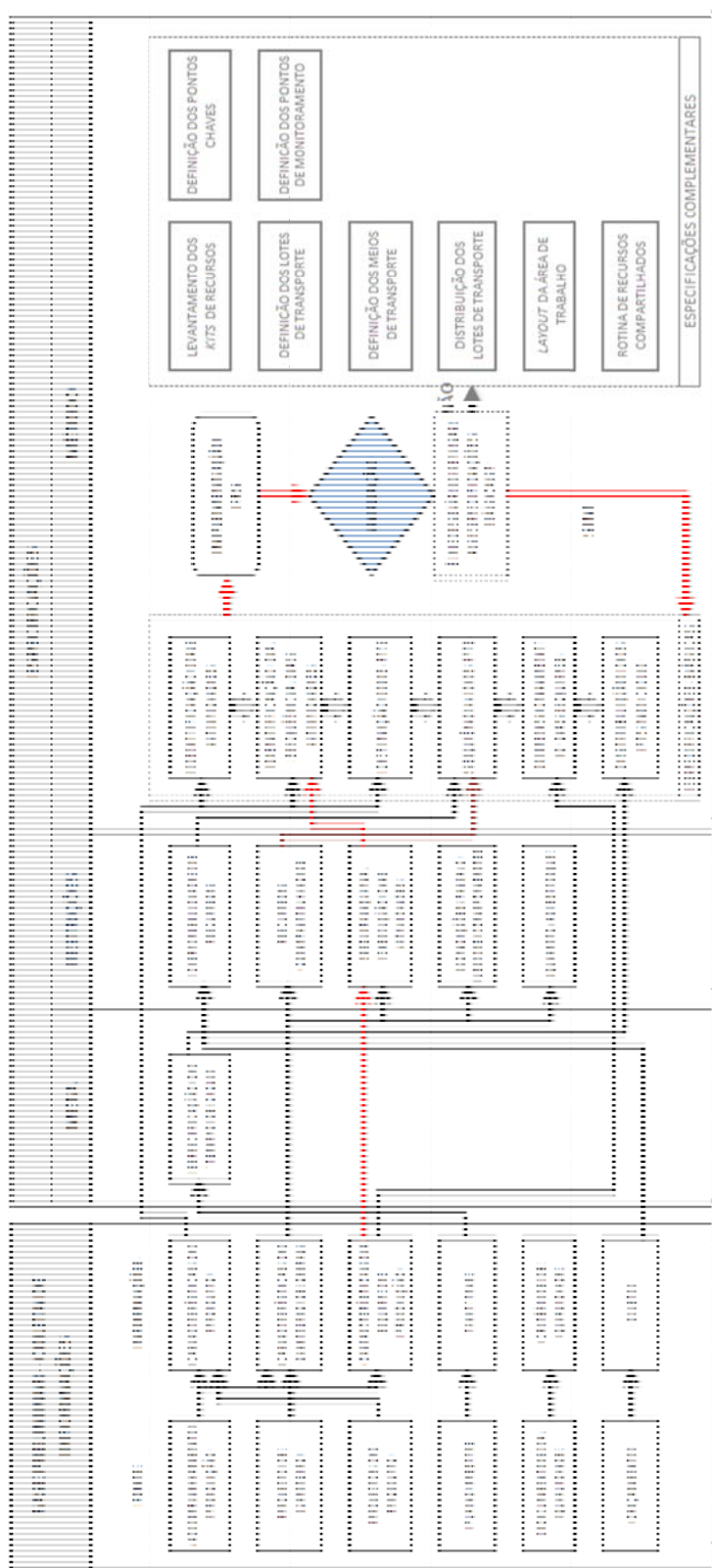
Desta forma, o primeiro ciclo foi concluído em 19 dias, isto é, dez dias a mais do que o estabelecido inicialmente.

As situações verificadas no acompanhamento da implantação do sequenciamento evidenciaram a necessidade de uma revisão nas especificações básicas. Por isso, o engenheiro da obra, juntamente com o mestre e encarregados, reuniram-se para definir as alterações necessárias.

Dentre os elementos do padrão citados por Fazinga (2012), o que havia sido especificado no projeto da produção, neste momento, e estava em teste nesta primeira unidade de repetição (pavimento) era a distribuição e sequência dos PTs dentro do ciclo da etapa estrutura.

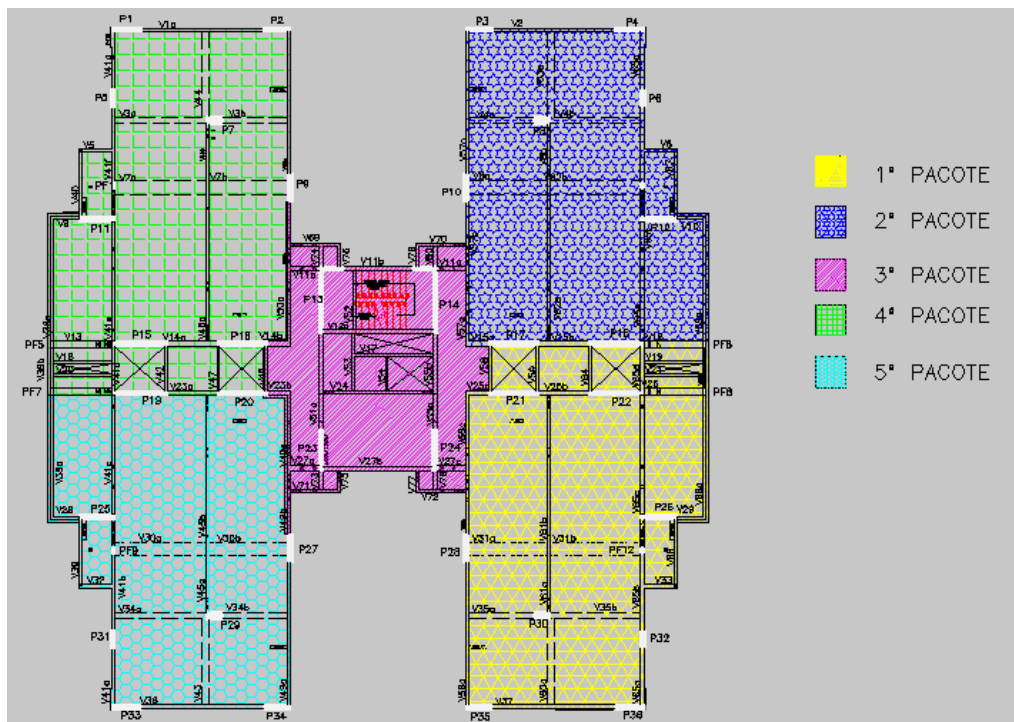
A Figura 44 destaca as relações indicadas pelas situações acima descritas e a fase de avaliação, em que o engenheiro da obra optou por revisar as especificações básicas do projeto.

Figura 44 – Relação entre informações, restrições e as especificações básicas indicadas na primeira implementação da produção



Fonte: do autor

Figura 46 – Divisão dos pacotes de trabalho das atividades das pré-vigas e das lajes



Fonte: do autor

Com a nova divisão dos PTs, o sequenciamento do ciclo também foi revisado. A segunda versão do ciclo é apresentada na Figura 47.

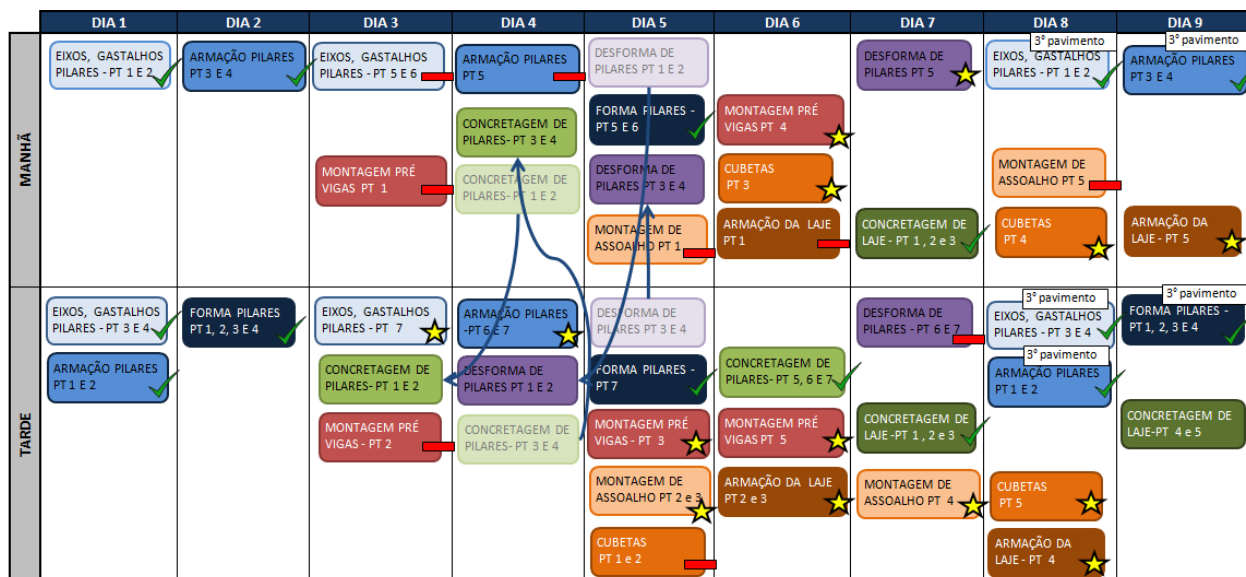
Figura 47 – Segunda versão do ciclo

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9
MANHÃ	EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 1 E 2	ARMAÇÃO PILARES PT 3 E 4	EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 5 E 6	ARMAÇÃO PILARES PT 5 CONCRETAGEM DE PILARES- PT 3 E 4	FORMA PILARES - PT 5 E 6 DESFORMA DE PILARES PT 3 E 4 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 1	MONTAGEM PRÉ VIGAS PT 4 CUBETAS PT 3 ARMAÇÃO DA LAJE PT 1	DESFORMA DE PILARES PT 5 CONCRETAGEM DE LAJE - PT 1, 2 e 3	3º pavimento EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 1 E 2 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 5 CUBETAS PT 4	3º pavimento ARMAÇÃO PILARES PT 3 E 4 ARMAÇÃO DA LAJE - PT 5
	EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 3 E 4 ARMAÇÃO PILARES PT 1 E 2	FORMA PILARES PT 1, 2, 3 E 4	EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 7 CONCRETAGEM DE PILARES- PT 1 E 2 MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 2	ARMAÇÃO PILARES -PT 6 E 7 DESFORMA DE PILARES PT 1 E 2	FORMA PILARES - PT 7 MONTAGEM PRÉ VIGAS - PT 3 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 2 e 3 CUBETAS PT 1 e 2	CONCRETAGEM DE PILARES- PT 5, 6 E 7 MONTAGEM PRÉ VIGAS PT 5 ARMAÇÃO DA LAJE PT 2 e 3	DESFORMA DE PILARES - PT 6 E 7 CONCRETAGEM DE LAJE -PT 1, 2 e 3 MONTAGEM DE ASSOALHO PT 4	3º pavimento EIXOS, GASTALHOS PILARES - PT 3 E 4 3º pavimento ARMAÇÃO PILARES PT 1 E 2 CUBETAS PT 5 ARMAÇÃO DA LAJE - PT 4	3º pavimento FORMA PILARES - PT 1, 2, 3 E 4 CONCRETAGEM DE LAJE-PT 4 e 5

Fonte: do autor

Esse novo ciclo ficou ainda com nove dias trabalhados e com dois dias de sobreposição entre pavimentos, garantindo o atendimento do prazo. A Figura 48 representa as alterações que foram feitas da primeira para a segunda versão do ciclo.

Figura 48 – Alterações feitas no ciclo



Legenda	
	Pacotes que não sofreram alterações
	Pacotes que foram reduzidos
	Pacotes Criados
	Mudança de período

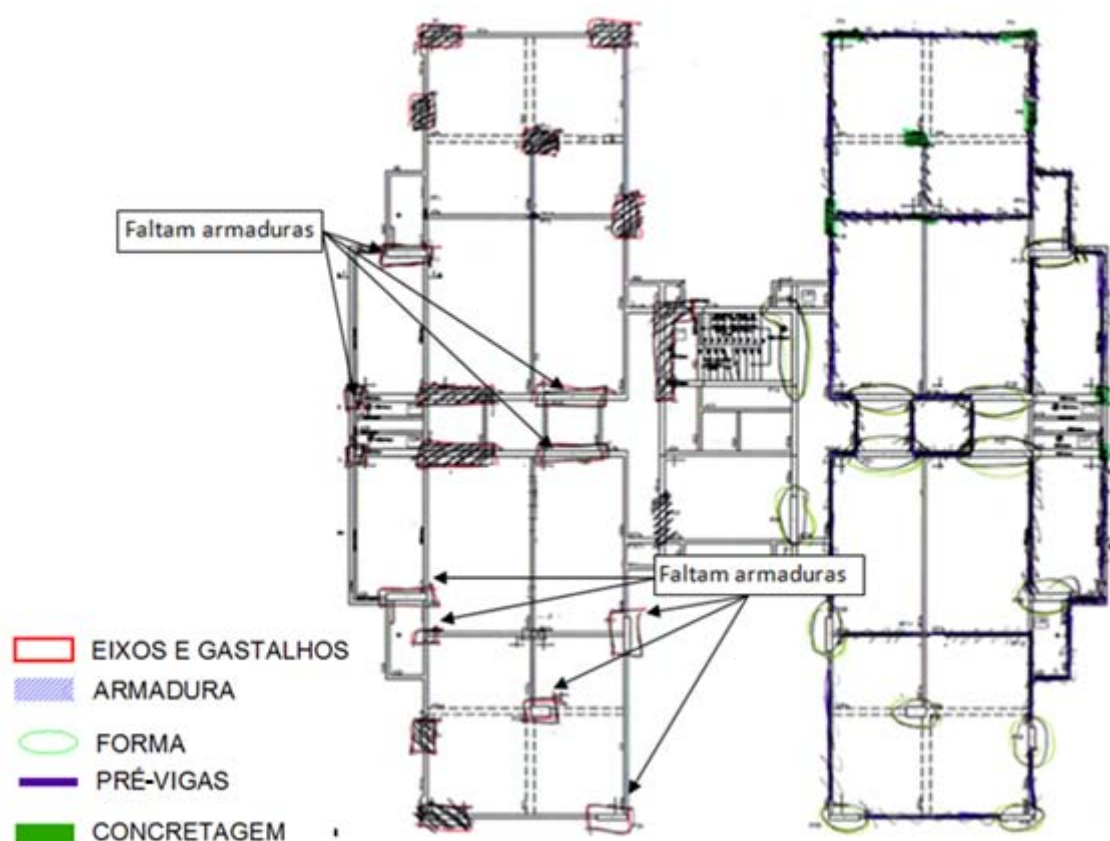
Fonte: do autor

Essa nova versão do ciclo foi apresentada à equipe de produção na quinta reunião realizada no dia 4 de agosto, com a presença do engenheiro da obra, a estagiária, o mestre de obras e todos os encarregados. Todos concordaram com o sequenciamento, ficando definido que, no segundo ciclo da estrutura, já seria implementada a nova versão.

A execução do segundo pavimento da estrutura ocorreu a partir do dia 4 de agosto de 2014 até o dia 22 de agosto de 2014, concluído, portanto, com quinze dias trabalhados. Durante esse período, novamente foi feito um acompanhamento pelo pesquisador. As situações identificadas foram:

- a) Falta de terminalidade dos PTs: como no primeiro ciclo, houve momentos em que a produção iniciava as atividades no pacote de trabalho seguinte sem ter concluído um determinado PT. As causas, geralmente, estão relacionadas à disponibilização de recursos. Por exemplo, na Figura 49, pode-se observar que há armadura de pilares em três PTs diferentes, e todos estão incompletos. Essa situação ocorreu porque a ordem de içamento das armaduras não obedeceu a sequência de execução dos PTs.

Figura 49 – *Layout* sexto dia do ciclo do 2º Pavimento

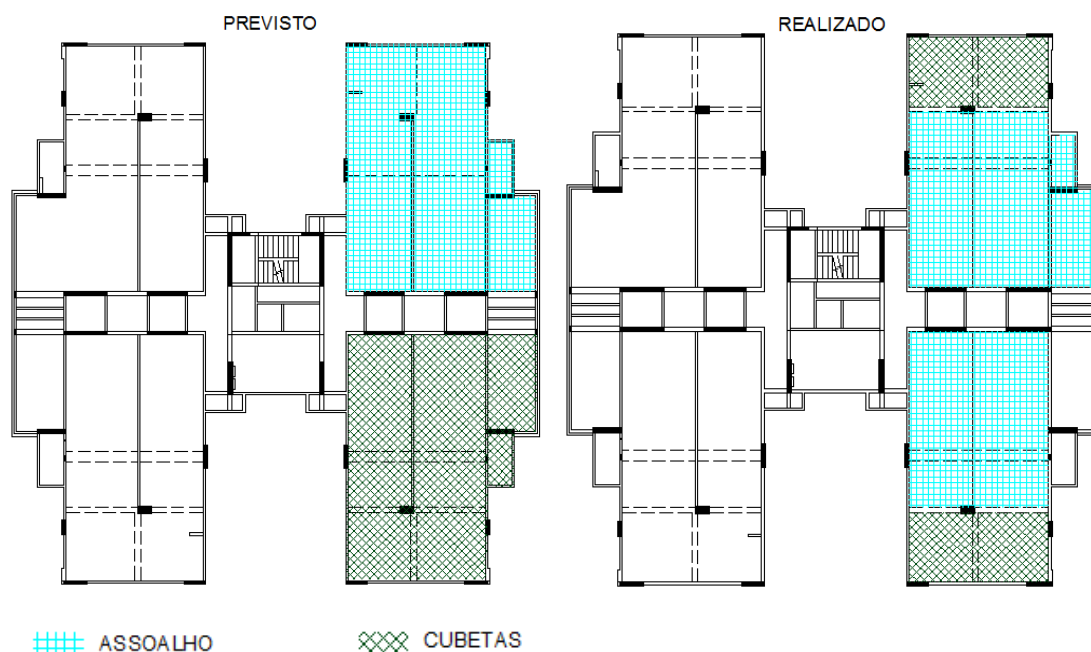


Fonte: do autor

Essa situação evidencia a necessidade de especificar os lotes de transporte das armaduras de acordo com o sequenciamento dos PTs, o que indica a relação entre as especificações básicas e as especificações ainda não abordadas no delineamento. Assim, a não especificação da forma de disponibilização de recursos pode interferir na sequência de execução dos PTs.

- b) Execução em PTs maiores: a equipe de produção preferiu executar o escoramento e o assoalho da laje em todo o lado B do pavimento simultaneamente, conforme mostra a Figura 50, não obedecendo aos PTs definidos. Essa situação sugere a tendência da mão de obra atuar em lotes maiores de produção, pois, em entrevista com a equipe de produção, foi identificado que, para eles, quanto maior a frente de trabalho, melhor a produtividade da equipe. No entanto, com a frente de trabalho maior havia mais trabalho em progresso, pois as equipes demoravam mais tempo para liberar a frente de trabalho para a equipe seguinte. Por exemplo, essa situação fez com que a equipe de armação da laje iniciasse as atividades no segundo pavimento apenas no 9º dia do ciclo, executando todo o lado B da laje em um único lote.

Figura 50 – *Layout* do pavimento na execução do assoalho e colocação de cubetas no 8º dia do ciclo



Fonte: do autor

- c) Alterações nas equipes de produção: os funcionários não seguiram a especificação das equipes, ou seja, em alguns momentos, todos os carpinteiros estavam atuando na montagem dos escoramentos, assoalho e cubetas, e outras frentes de trabalho encontravam-se sem mão de obra. A

seguir, na Figura 51, apresenta-se quantos funcionários estavam alocados em cada atividade ao longo do acompanhamento do segundo ciclo da estrutura.

Figura 51 – Equipes prevista x real

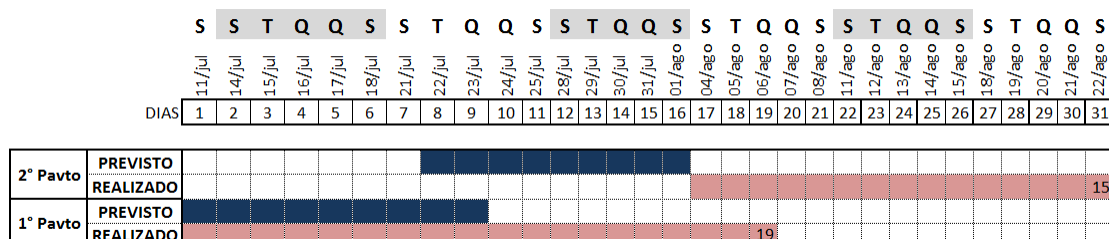
ATIVIDADES	EQUIPE PREVISTA	EQUIPE REAL									
		07/08/2014	08/11/2014	11/08/2014	13/08/2014	14/08/2014	18/08/2014	19/08/2014	20/08/2014	21/08/2014	
Eixos e galgalhos dos pilares	1 Carp. + 1 Meio Oficial	2 carp + 1 meio oficial									2 carp
Armação dos pilares	2 Arm	2 arm			3 arm					3 arm + 1 meio oficial	2 arm
Forma dos pilares	2 Carp + 2 Meio Oficial	3 carp + 1 meio oficial	3 carp	2 carp + 1 meio oficial		2 carp + 1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial
Montagem das pré vigas	2 Carp + 1 Ajudante		5 carp	4 carp	6 carp		5 carp	2 carp + 2 meio oficial			1 carp + 1 meio oficial
Concretagem dos pilares	2 Ped + 1 Ajudante							2 ped			
Desforma dos pilares	2 Carp + 2 Meio Oficial			1 carp + 1 meio oficial			1 meio oficial				
Montagem assoalhos e Cubetas	4 Carp + 4 Ajudantes				2 carp + 1 meio oficial	4 carp + 2 meio oficial	2 carp	4 carp	6 carp		4 carp + 1 meio oficial
Armação da laje	4 Arm + 2 Ajudantes			1 arm + 1 meio oficial		7 arm	1 arm + 1 meio oficial				3 arm
Passagem de tubulações	1 Ele + 1 Ajudante + 1 Encan					1 ele + 1 enc + 1 ajudante					1 ele + 1 enc + 1 ajudante
Concretagem da laje	4 Ped + 4 Ajudantes							2 ped + 2 ajud	3 ped + 2 ajud		
Desforma pavimentos inferiores	2 Ajudantes	2 carp + 2 meio oficial	1 meio oficial	1 carp + 1 meio oficial	2 meio oficial		2 meio oficial	2 meio oficial			2 meio oficial
n° de carpinteiros		7	8	8	8	6	8	7	7	8	

Fonte: do autor

É possível observar que o serviço que apresentou a maior diferença entre a mão de obra prevista e a realmente alocada foi a montagem das pré-vigas. Essa diferença ocorreu pela complexidade de montagem ser maior do que a prevista.

Com as revisões realizadas, o segundo ciclo da estrutura foi completado com 15 dias, apresentando uma redução de quatro dias se comparado com o primeiro ciclo. Mas, ainda assim, maior que os nove dias previstos no projeto da produção, conforme mostra a Figura 52.

Figura 52 – Cronograma do ciclo Previsto x Realizado



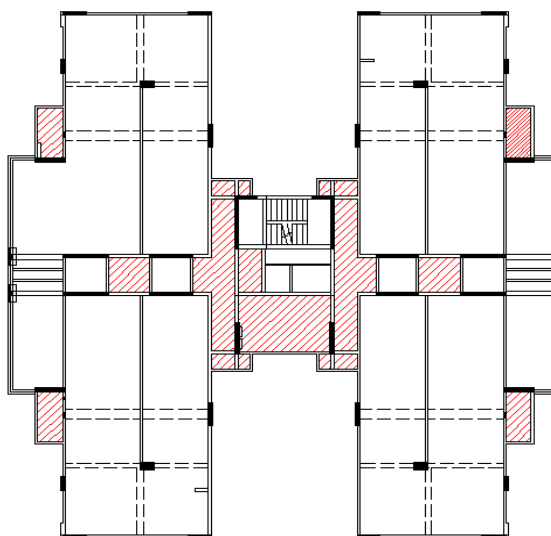
Fonte: do autor

Essa redução ocorreu devido aos seguintes fatores: (a) disponibilidade das formas de pilares, evitando a espera que ocorreu no ciclo anterior; (b) equipes de produção completas, pois nos primeiros dias do 1 pavimento a equipe de estrutura ainda estava sendo mobilizada; (c) o efeito da aprendizagem da sequência de montagem das pré-vigas e dos pontos com maior complexidade, contribuiu para a redução no prazo de execução.

Ao final do segundo ciclo da estrutura, foram feitas entrevistas com o engenheiro da obra, o mestre de obras e os encarregados da produção para identificar os motivos do descumprimento dos PTs relacionados a dois aspectos: (a) prazo (PTs que demoraram mais que o previsto para ser concluídos), para o engenheiro da obra, isso ocorreu devido à complexidade maior do sistema construtivo do que a prevista inicialmente; (b) não cumprimento das especificações referentes ao tamanho do PT, segundo o engenheiro da obra, os encarregados não estavam convencidos dos benefícios de se trabalhar com PTs menores. Para eles e para a equipe de produção, era melhor trabalhar com PTs maiores, pois acreditavam que, assim, teriam maior liberdade para se organizarem na produção.

Para corrigir o desvio de prazo, foram feitas algumas revisões no sistema construtivo e os trechos destacados na Figura 53 passariam a ser executados em pré-lajes.

Figura 53 – Trechos a serem executados em pré-lajes



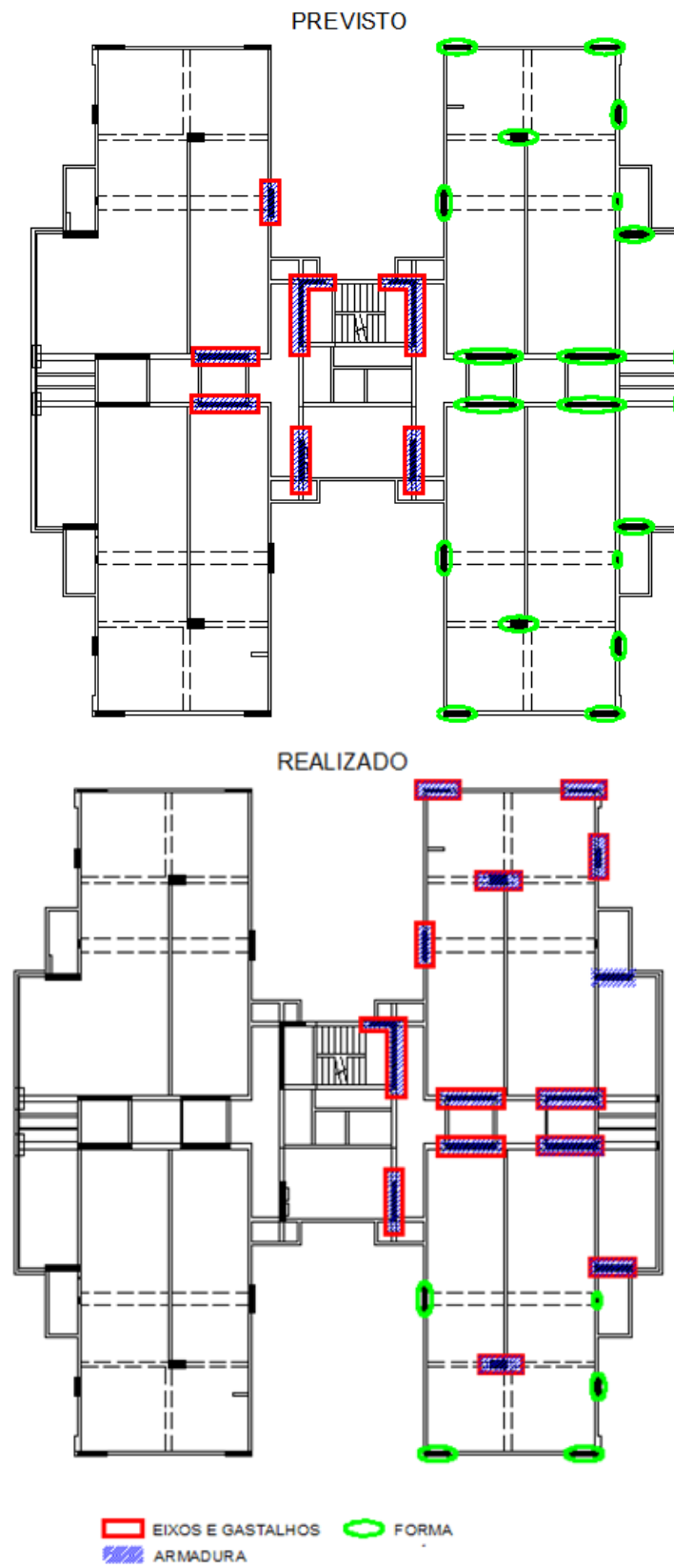
Fonte: do autor

Com relação ao cumprimento das especificações, o engenheiro da obra fez um acordo com a equipe de produção: na execução do terceiro pavimento, a equipe de produção seguiria as especificações do projeto da produção e, se não houvesse uma melhora na produção, eles estariam liberados para trabalharem com PTs maiores. Assim, a equipe de produção se comprometeu a seguir as especificações relacionadas aos PTs e seu sequenciamento.

A execução do terceiro pavimento da estrutura ocorreu a partir do dia 19 de agosto de 2014 até o dia 04 de setembro de 2014, sendo concluído com 14 dias trabalhados. No acompanhamento identificou-se que:

- a) Houve um atraso nos PTs dos pilares, (Figura 54). O motivo desse atraso inicial foi a indisponibilidade da equipe de montagem de forma de pilar que estava apoiando a equipe de montagem de assoalhos no pavimento anterior. Essa situação indica a relação entre a formação das equipes para o cumprimento dos PTs, ou seja, se a equipe de produção não está organizada conforme especificado ou se não há disponibilidade de operários para compor as equipes conforme especificadas, isso pode impossibilitar que os PTs sejam executados adequadamente.

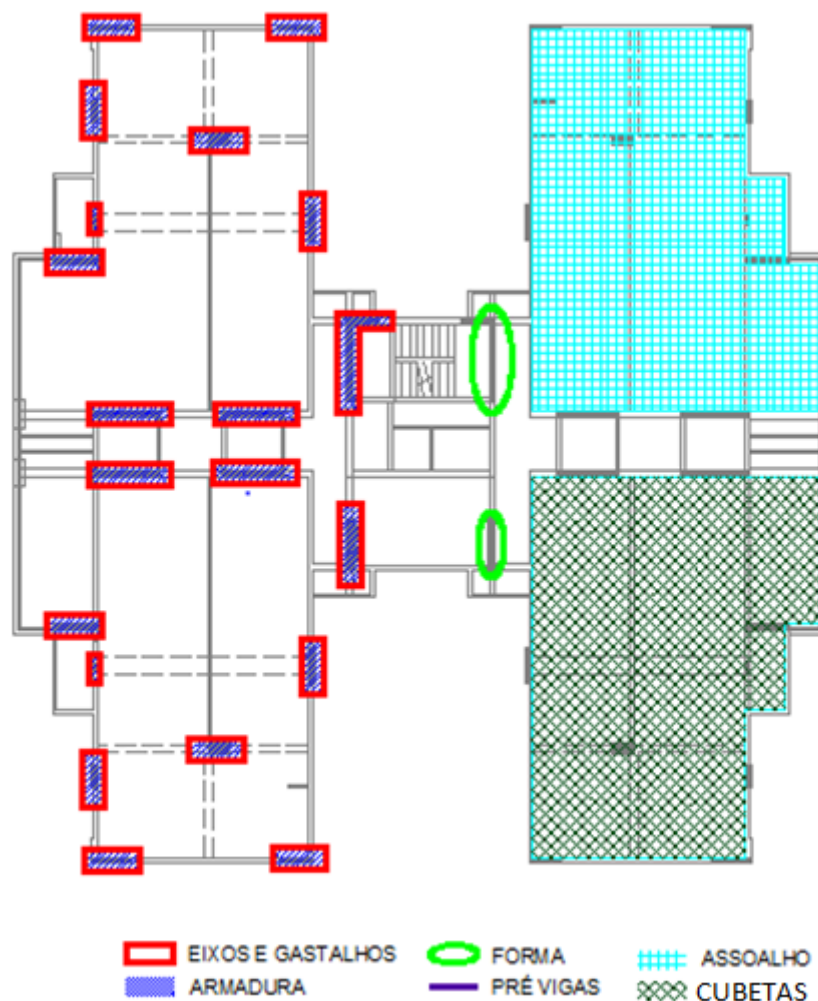
Figura 54 – Layout 2º dia do ciclo



Fonte: do autor

- b) Houve uma melhor aderência da equipe de produção aos PTs definidos, conforme mostra o *layout* do 6º dia do ciclo (representado na Figura 55), em que é possível observar que metade do lado B da laje já se encontrava liberado para a equipe de armadores.

Figura 55 – *Layout* 6º dia do ciclo



Fonte: do autor

- c) Devido à sequência de montagem do assoalho e das cubetas, a equipe de armação pode iniciar a montagem da laje no sétimo dia do ciclo, dois dias antes do ciclo do pavimento anterior.

Ao concluir o terceiro pavimento, novamente o pesquisador entrevistou os envolvidos para identificar a percepção deles sobre as especificações do ciclo. Para a

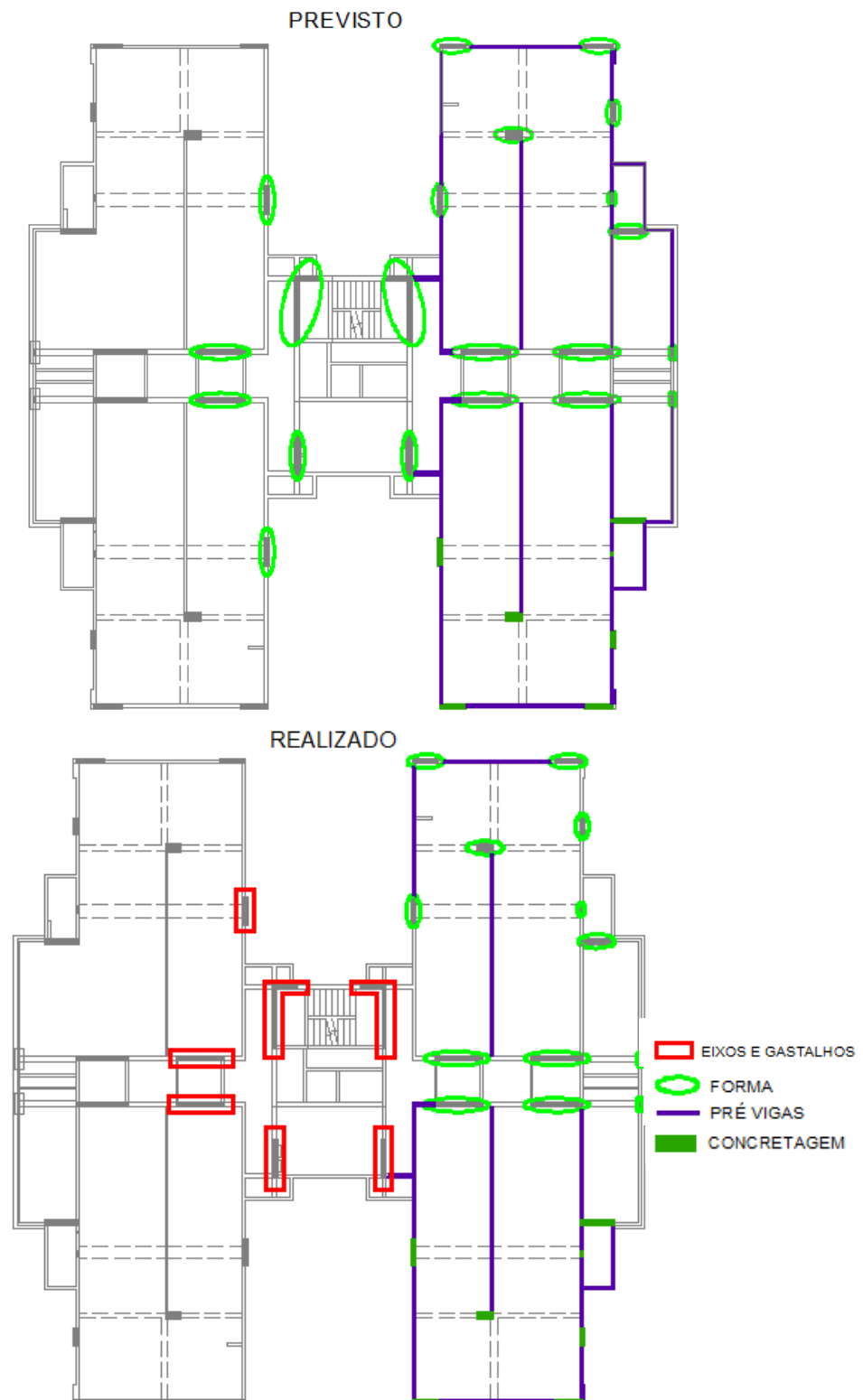
equipe de produção, os PTs menores faziam com que eles estivessem sempre atentos a prazos menores, ou seja, ao invés de se preocuparem com a concretagem que ocorreria dali dois dias, eles deveriam se preocupar com a conclusão do pacote de trabalho no final da tarde, pois, se eles não concluíssem o pacote de trabalho, a outra equipe não poderia iniciar a atividade seguinte. Para o engenheiro da obra, a equipe havia começado a se convencer das vantagens de executar os PTs menores.

A percepção dos envolvidos na produção indica que os funcionários passaram a perceber os benefícios da execução em PTs em dois aspectos: (a) propiciava um monitoramento mais frequente, ou seja, a verificação de metas intermediárias possibilitava a atuação para evitar atrasos na produção; (b) a equipe seguinte poderia iniciar a execução do PT seguinte mais cedo (redução da espera). É possível perceber a contribuição do *FRS* para o aprendizado da equipe de produção.

Em seguida, iniciou-se o acompanhamento do quarto pavimento da estrutura que ocorreu entre os dias 03 e 18 de setembro de 2014, sendo concluído com doze dias trabalhados. Neste pavimento, verificou-se que:

- a) Houve uma melhor aderência da equipe de produção às especificações dos PTs, como mostra o *layout* do terceiro dia, representado na Figura 56.

Figura 56 – Layout 3º dia do ciclo

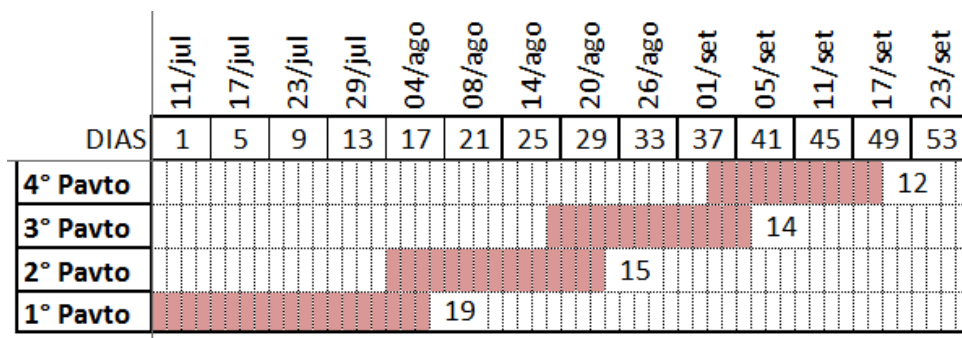


Fonte: do autor

- b) Como no ciclo anterior, a equipe de armação iniciou a montagem das armaduras da laje no sétimo dia do ciclo, demonstrando uma tendência à estabilização do ciclo de execução da estrutura.

Com a conclusão do quarto pavimento, foi possível verificar uma redução do tempo de execução de cada pavimento, conforme mostra a Figura 57.

Figura 57 – Execução dos primeiros pavimentos da estrutura



Fonte: do autor

Em entrevista com o engenheiro da obra para analisar a redução no prazo de execução dos primeiros pavimentos, pode-se concluir que essa redução pode ter ocorrido pelos seguintes fatores: (a) aprendizagem da equipe de produção decorrente do entendimento da sequência de execução das atividades e dos PTs; (b) manutenção da composição das equipes de produção, ou seja, nos últimos pavimentos, as equipes estavam melhor definidas, conforme mostra a Figura 58; (c) aderência da equipe de produção aos PTs e ao sequenciamentos definidos.

Figura 58 – Distribuição de mão de obra nas atividades do 4º Pavimento

ATIVIDADES	EQUIPE										
	01/09/2014	02/09/2014	03/09/2014	04/09/2014	08/09/2014	09/09/2014	10/09/2014	12/09/2014	17/09/2014	23/09/2014	25/09/2014
Eixos e gachalhos dos pilares		1 carp +1 meio			1 carp +1 meio						1 carp +1 meio
Armação dos pilares										2 arm	
Forma dos pilares		2 carp +2 meio	4 carp +2 meio	3 carp +1 meio		1 carp +1 meio	1 carp +1 meio	1 carp +1 meio	3 carp +1 meio		3 carp +1 meio
Montagem das pré vigas	2 carp +1 meio				4 carp +2 meio		2 carp	2 carp			3 carp
Concretagem dos pilares						2 ped +2 ajud			2 ped +2 ajud		
Desforma dos pilares										2 carp	
Montagem assoalhos e Cumbucas	4 carp +3 meio	3 carp +2 meio	2 carp +2 meio	5 carp +2 meio	2 carp	5 carp	3 carp +1 meio	4 carp +1 meio	4 carp +1 meio	3 carp +1 meio	1 carp +1 meio
Armação da laje	2 arm			5 arm +2 meio				4 arm	4 arm +1 meio		
Passagem de tubulações											
Concretagem da laje	6 ped +2 ajud							5 ped +5 ajud			
Desforma pavimentos inferiores	2 carp +2 meio	2 carp +2 meio	2 carp +2 meio		1 carp +2 meio	2 carp +2 meio	2 carp +2 meio	1 carp +1 meio	1 carp +3 meio	3 carp +1 meio	2 meio
n° de carpinteiros	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Fonte: do autor

Na percepção do engenheiro da obra, do mestre de obras e dos encarregados, as especificações dos PTs e do sequenciamento adotados contribuíram para essa redução no tempo de ciclo das seguintes maneiras:

- Permitiu o início de atividades antecipadamente. Por exemplo, a equipe de montagem de pré-vigas iniciava a montagem do primeiro PT de pré-vigas assim que o primeiro PT de montagem de forma de pilares era concluído. Esta situação está relacionada ao conceito de redução do tamanho do lote de produção, que possibilita uma redução no trabalho em progresso e a redução no tempo de ciclo;
- Contribuiu para um melhor comprometimento da equipe de produção, pois os membros passaram a atuar buscando um desempenho que atendesse a meta. O monitoramento do ciclo foi dividido em marcos intermediários, que era o cumprimento dos PTs em seu período específico. Por exemplo, a equipe de montagem de assoalho, que iniciava suas atividades no quinto dia, não se preocupava com a concretagem da laje, que deveria ocorrer no sétimo dia, e sim com a conclusão da montagem dos PTs 1, 2, e 3 até o final do dia,

liberando essa região da laje para a equipe de armação iniciar a execução dos PTs de armação no sexto dia.

- c) Permitiu um melhor controle sobre a produção, pois como os PTs eram menores e estavam sendo executados em regiões bem definidas, se uma dificuldade fosse identificada, a solução ocorria de forma mais ágil.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que, para possibilitar a implementação das especificações relacionadas aos PTs no primeiro ciclo da etapa projetada é necessário iniciar a elaboração do projeto da produção de três a seis semanas antes do início previsto dessa etapa, confirmando a recomendação de bibliografia.

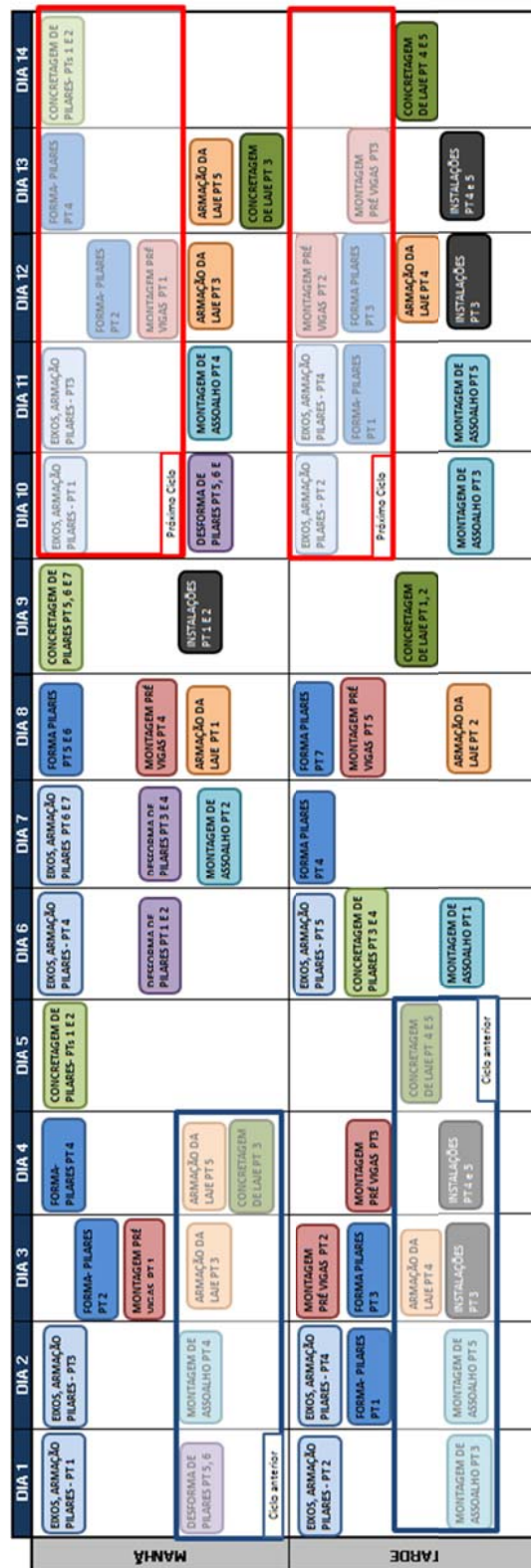
A implementação das especificações possibilitou a obtenção de aspectos não considerados inicialmente (complexidade construtiva, posicionamento de equipamentos, composição adequada das equipes, tamanho adequado dos PTs). Assim, o uso do *FRS* favoreceu a verificação da validade das especificações.

Após o primeiro ciclo, as especificações foram revisadas e novamente aplicadas na execução dos ciclos seguintes. Considerou-se que as especificações dos PTs e seu sequenciamento eram adequados quando não houve mais necessidade de alterações.

A partir dos resultados obtidos com a implementação das especificações dos PTs, segundo o engenheiro da obra, os funcionários se convenceram dos benefícios de seguir as especificações relacionadas aos PTs e seu sequenciamento.

A partir do acompanhamento da execução, foi possível identificar como eram realizadas as atividades nos dias do ciclo, conforme mostra a Figura 59.

Figura 59 – Ciclo Real



Tempo de atravessamento

Tempo de ciclo

Fonte: do autor

5.2.2.3.1. Impactos causados pela não especificação dos demais elementos do projeto da produção

Durante o acompanhamento dos primeiros ciclos, foi possível observar que devido à falta de especificação dos demais elementos do projeto da produção, como por exemplo a quantidade de recursos necessários para executar os PTs, os meios de transporte e o *layout* da área de trabalho, os próprios funcionários definiam quais os recursos eram necessários, em que quantidades e a forma de transportá-los até o local de utilização. No entanto, situações de transporte e disponibilização de recursos inadequados podiam ser verificadas ao longo da produção como:

- a) Transporte manual excessivo entre pavimentos (Figura 60);

Figura 60 – Situações de transporte e disponibilização inadequadas de recursos



Fonte: do autor

- b) Situações de risco para os funcionários (Figura 61);

Figura 61 – Situações de risco



Fonte: do autor

- c) Subutilização da capacidade de carga da grua (Figura 62);

Figura 62 – Subutilização da grua



Fonte: do autor

- d) Disponibilização inadequada dos recursos (Figura 63)

Figura 63 – Disponibilização inadequada de recursos



Fonte: do autor

O transporte e disponibilização inadequados de recursos ocorriam devido a um esforço da equipe de produção para cumprir as metas estabelecidas. Diante da indisponibilidade dos equipamentos que deveriam auxiliar no transporte desses recursos, a equipe responsável pela execução dos PTs, para poder iniciar os PTs em que os recursos não estavam disponíveis, se mobilizava para realizar o transporte, diversas vezes manualmente entre pavimentos. A disponibilização dos recursos na frente de trabalho antes do início da execução dos PTs poderia reduzir a quantidade de atividades de transporte desenvolvida pelas equipes responsáveis pela execução do PT,

possibilitando uma redução ainda maior na equipe de produção, mantendo o tempo de ciclo em valores que já atendiam o prazo da obra.

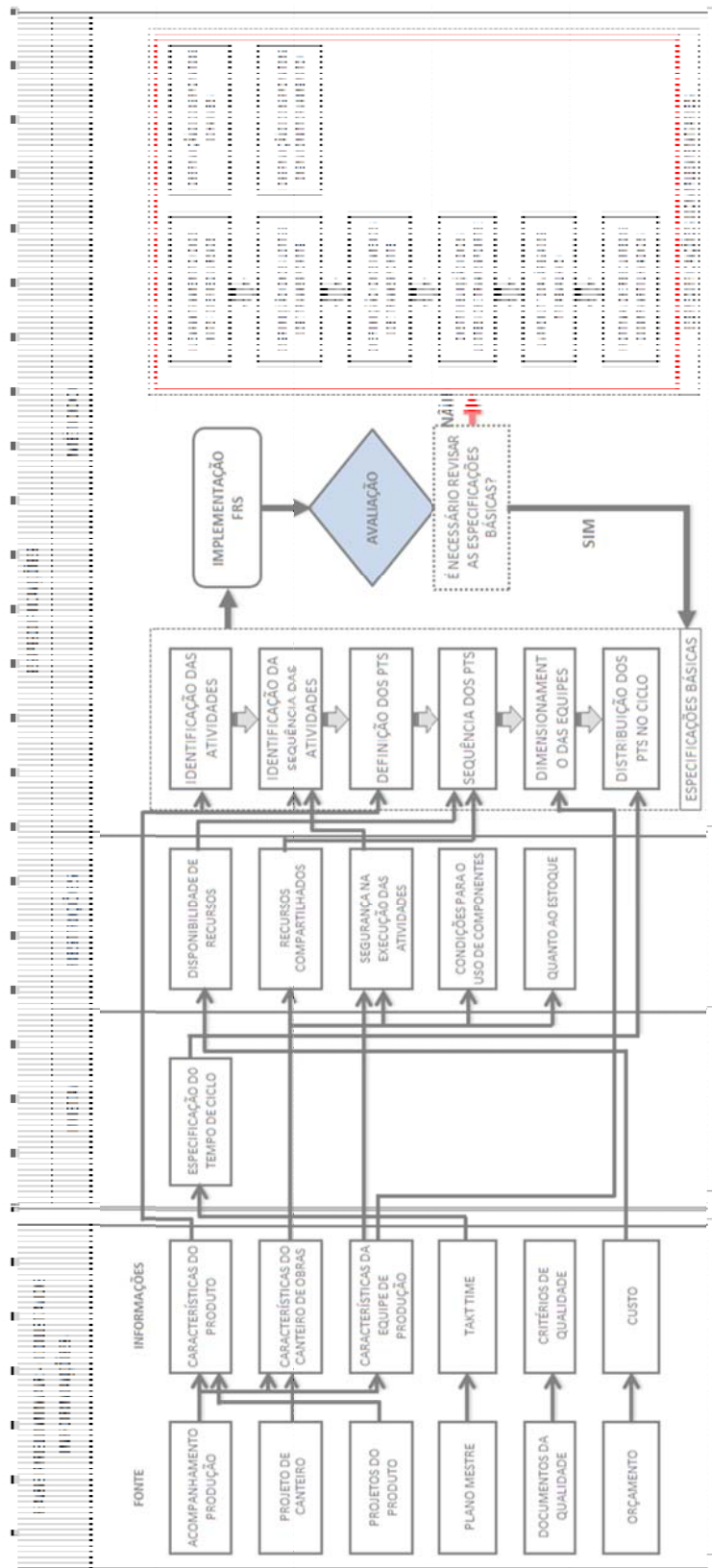
Para tornar o transporte mais adequado, seria necessária a elaboração de uma rotina para a grua, eliminando a necessidade de transporte manual em excesso, como identificado durante o acompanhamento dos primeiros ciclos.

5.2.2.3.2. Especificações complementares do método

A partir do início da execução do segundo pavimento da estrutura, em que o engenheiro da obra definiu que não haveria mais alterações nas especificações relacionadas aos PTs e em seu sequenciamento, foi iniciada a próxima fase de especificações do método.

As especificações relacionadas aos recursos buscam definir a forma de transportar e disponibilizar os recursos na frente de trabalho, possibilitando uma melhor organização do local e, possivelmente, redução das perdas por transportes desnecessários e inadequados. Outra possível contribuição esperada com a especificação dos meios de disponibilização dos recursos é a redução do esforço realizado pelos operários para providenciar os recursos na frente de trabalho. Nessa fase, o objetivo foi estabelecer quais os recursos necessários em todos os PTs e qual a maneira de transportá-los e disponibilizá-los no local de trabalho. Para isso, seguiu-se o roteiro conforme o delineamento destacado na Figura 64.

Figura 64 – Especificações complementares do método



Fonte: do autor

- a) Levantamento dos *kits* de recursos: as informações necessárias eram o tipo de recursos e suas respectivas quantidades em cada PT. Essas informações foram levantadas por meio de consulta aos projetos e no acompanhamento do segundo ciclo da estrutura. Por exemplo, as quantidades de materiais como aço e concreto para a estrutura foram levantadas consultando o projeto estrutural. No entanto, as quantidades de escoramento, assoalho e cubetas foram levantadas *in loco*, uma vez que não existia um projeto detalhado do sistema utilizado. Essa possibilidade de fazer levantamento diretamente no local de trabalho só existiu devido aos primeiros ciclos da estrutura já estarem em execução. Isso facilitou a visualização de todos os recursos necessários em cada PT e evitou a necessidade de elaborar um projeto detalhado do sistema de escoramento, a exemplo do que ocorreu nos estudos de Kremer (2016) e que consumiu grande quantidade de tempo.

Para cada atividade, foram levantados os recursos necessários, conforme Figura 65.

Figura 65– Quantidade de recursos por atividade

ATIVIDADE	RECURSOS	QUANTIDADE PARA EXECUÇÃO DE UM PT
Locação eixos e pilares	Pregos e pinos	2 Kg
	Colarinhos de madeira ou metálicos	6 unid.
Colocação de armadura	Armadura	6 unid.
Montagem da forma de pilares	Painéis de formas	6conj
	Agulhas e borboletas	75 conj.
	Aprumadores	24 unid.
Montagem de pré–vigas	Vigas pré concretadas	10 unid.
	Escoras e aprumadores	20 escoras e 20 aprumadores
	Agulhas e borboletas	20 conj.
Montagem de escoramento, assoalho e cubetas	Gravatas externas	50 unid.
	Gravatas internas	120 unid.
	Agulhas e borboletas	200 conj.
	Escoras	80 unid.
	Cavaletes de travamento	60 unid.
	Barrotes Principais	40 unid.
	Barrotes secundários maiores	80 unid.
	Barrotes secundários menores	50 unid.
	Chapas de compensado	50 chapas
Cubetas	150 unid.	
Montagem de formas <i>in loco</i>	Painéis de forma	1conj
	Escoras e aprumadores	30 escoras e 10 aprumadores
Armação da laje	Barras de aço cortadas e dobradas	1conj.
	Tela de distribuição de esforços	16 telas

Fonte: do autor

- b) Definição dos lotes de transportes: na sexta reunião para a elaboração do projeto da produção, iniciou-se a definição dos lotes de transporte. Para essa definição, foi preciso considerar os seguintes aspectos: (a) tamanho dos PTs; (b) sequenciamento dos PTs; (c) equipamento a ser utilizado para transporte e sua capacidade de carga; (d) formato e tamanho dos recursos a serem transportados; (e) segurança no transporte.

Os equipamentos utilizados no transporte eram a grua, um guincho de carga e um elevador cremalheira. A grua era o principal equipamento de transporte entre pavimentos e também era utilizada na montagem das formas dos pilares e das pré-vigas.

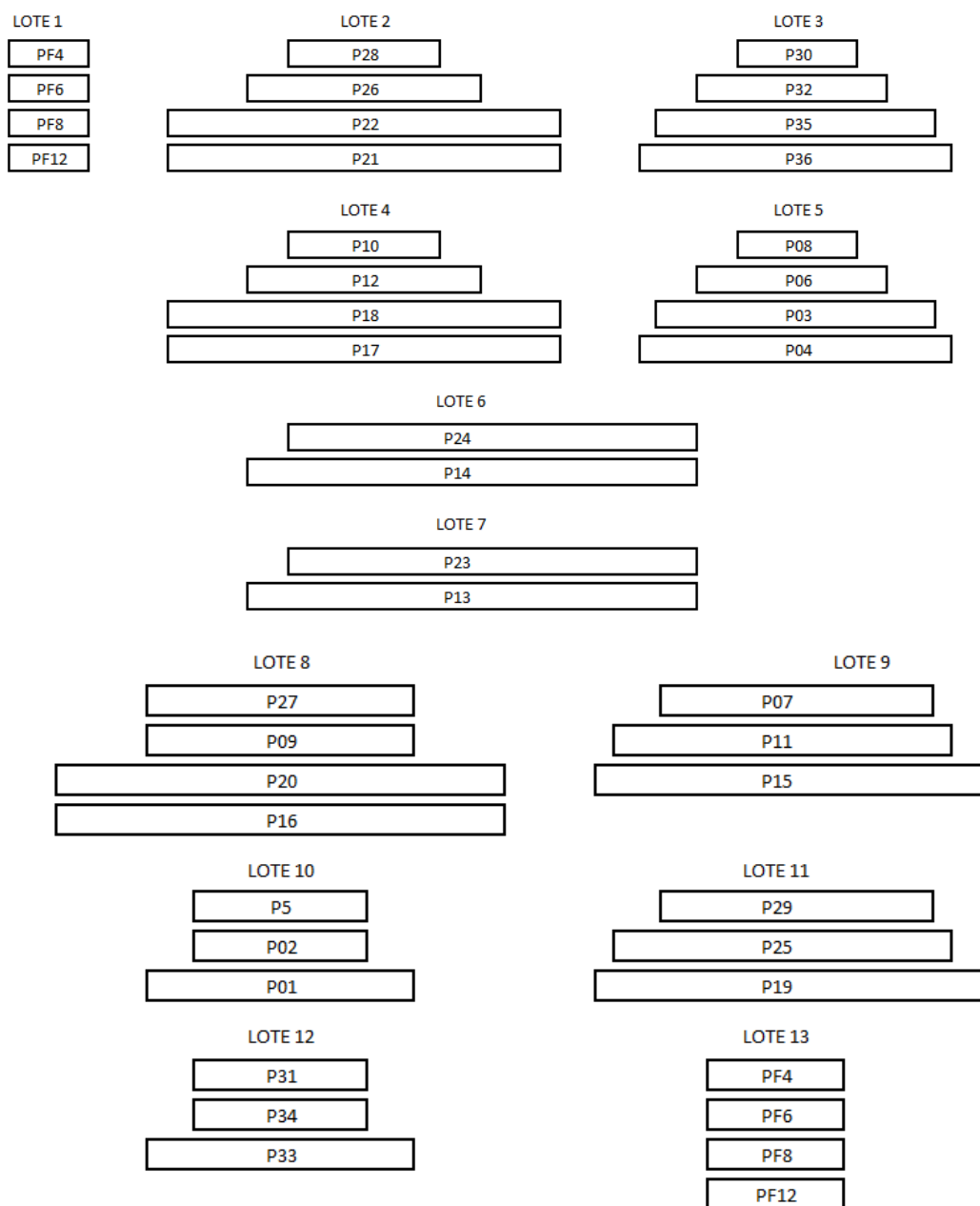
Os recursos eram transportados na grua com ou sem o uso de compartimentos específicos. Os recursos que não utilizavam compartimentos eram as armaduras dos pilares e da laje, as formas dos pilares e as pré-vigas.

Para a definição dos lotes de transportes das armaduras dos pilares, consideraram-se os PTs, a capacidade de carga da grua e o tamanho de cada armadura que deveria ser disposta com as maiores embaixo, para garantir a estabilidade e a segurança durante o transporte, conforme recomendação de Kremer (2016).

O transporte em lotes das armaduras tinha o objetivo de reduzir o número de viagens da grua até a central de armação. No entanto, para viabilizar o transporte nos lotes definidos, era necessário que a equipe de armadores montasse as armaduras dos pilares na central de armação, conforme os lotes definidos, e os deixassem organizados e prontos para o transporte.

Assim, os lotes de transporte das armaduras dos pilares foram definidos conforme a Figura 66.

Figura 66 – Lotes de transporte da armação dos pilares



Fonte: do autor

É possível observar, na Figura 66, 13 lotes de transporte de armaduras de pilares para os sete PTs, ou seja, para execução de determinados PTs, era necessária a mobilização de mais de um lote de armadura. Isso ocorreu devido à segurança no transporte e armazenamento das pilhas de armadura.

As pré-vigas eram transportadas uma de cada vez no momento da sua montagem, não sendo necessária a definição de lotes, conforme a Figura 67.

Figura 67 – Transporte das pré-vigas



Fonte: do autor

No entanto, era importante que a produção das pré-vigas considerasse a sequência da sua montagem no pavimento. Isso garantiria a disponibilidade das peças no momento de sua montagem, evitando estoque desnecessário.

Era preciso considerar, também, a restrição do tempo de cura do concreto das pré-vigas, ou seja, elas só poderiam ser movimentadas após 72h da concretagem.

Para os itens como escoras, formas de pilares, barrotes do escoramento e chapas madeira do assoalho, observou-se, durante a execução do primeiro ciclo, a formação de lotes de transporte utilizando apenas correias de amarração, conforme a Figura 68. Esse meio de transporte não favorecia a segurança no traslado e não proporcionava o uso da capacidade de carga da grua, considerando que vários desses lotes de transportes apresentavam peso muito inferior à capacidade de carga da grua.

Figura 68 – Transporte de escoras



Fonte: do autor

- c) Definição dos meios de transportes: foi definido que seriam usadas caixas metálicas parecidas com as já utilizadas na obra para transporte de cubetas, como mostra a Figura 69. Essas caixas seriam usadas para transportar, também, itens como escoras, apuradores, barrotes, chapas de madeira compensada para o assoalho e cubetas.

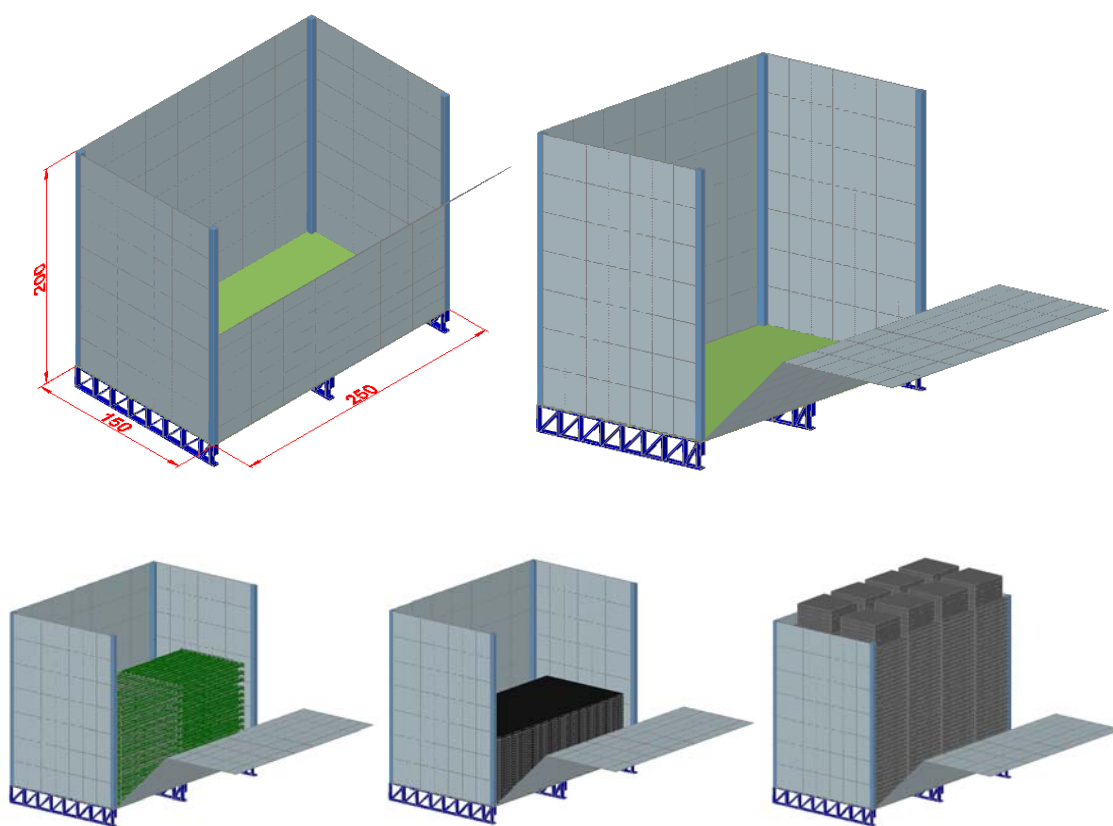
Figura 69 – Caixa metálica utilizada no transporte de cubetas



Fonte: do autor

Na sétima reunião, foi especificado qual a forma e as dimensões ideais para a caixa metálica. Foi definido, ao fim da reunião, que a caixa deveria ser fixada na lateral da estrutura dos pavimentos inferiores para possibilitar a retirada dos recursos desses pavimentos, facilitando o içamento pela grua e, principalmente, evitando o posicionamento em locais que interferissem na execução dos PTs. As dimensões e a forma inicial ficaram definidas, conforme a Figura 70.

Figura 70 – Caixa metálica para transporte de recursos



Fonte: do autor

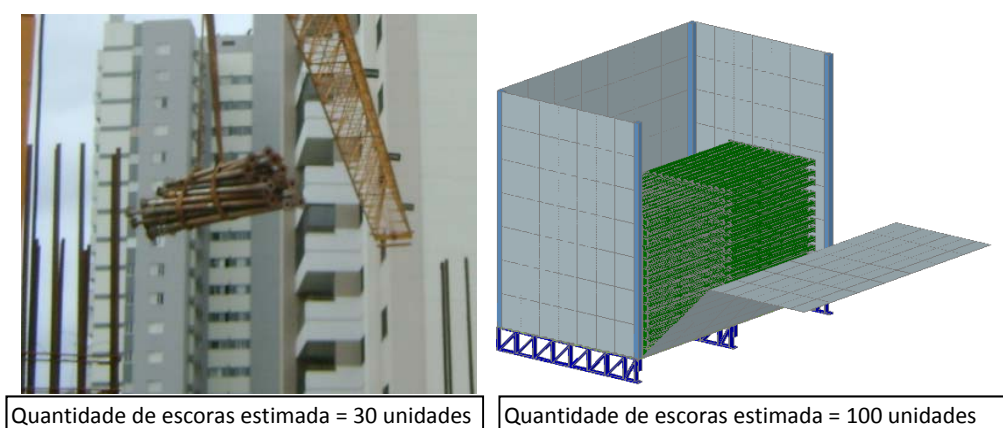
Inicialmente, seria construído um protótipo em tamanho real que deveria ser disponibilizado para a equipe de produção testá-lo e, se fosse preciso, propor melhorias.

Dentre as possíveis vantagens do uso dessa caixa metálica estão: (a) reduzir o transporte manual entre pavimentos; (b) evitar o deslocamento

desnecessário da mão de obra; (c) reduzir a variabilidade na disponibilização dos recursos, pois o transporte manual, em princípio, está mais sujeito à variabilidade do que o transporte mecanizado; (d) melhorar a segurança e a ergonomia no transporte dos recursos.

Outra vantagem do uso da caixa metálica seria melhorar o uso da grua, pois permitiria o transporte de um volume maior de recursos por lote de transporte, conforme mostra a Figura 71.

Figura 71 – Comparativo da quantidade de escoras por lote

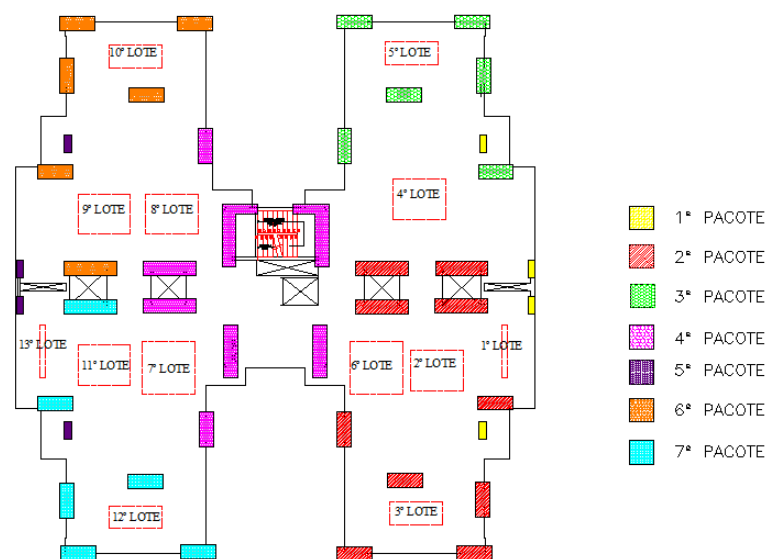


Fonte: do autor

A utilização de um meio de transporte que aproveitasse melhor a capacidade de carga da grua poderia reduzir o número de viagens e, conseqüentemente, contribuir para uma elaboração mais simplificada da rotina da grua.

- d) *Layout* de armazenagem: na oitava reunião, foi discutida a necessidade de definição da armazenagem dos recursos no pavimento. Para isso, foi necessário considerar a seqüência dos PTs, o espaço disponível no pavimento e o tamanho do lote de transporte. O *layout* dos lotes da armadura ficou definido conforme a Figura 72.

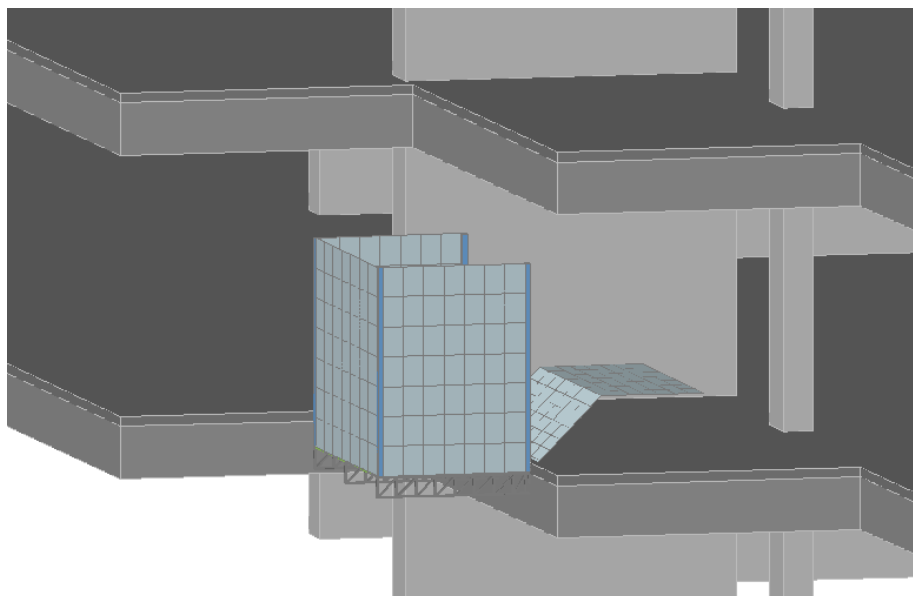
Figura 72 – Layout armazenagem lotes de transporte de armação



Fonte: do autor

Para os demais recursos, o uso da caixa metálica permitiria que elas fossem fixadas no perímetro da estrutura, conforme mostra a Figura 73, facilitando o içamento com a grua, aumentando a área de trabalho e evitando pilhas de recursos que poderiam dificultar a execução das atividades no pavimento.

Figura 73 – Fixação da caixa metálica na lateral da estrutura



Fonte: do autor

Outra contribuição da possibilidade de fixação das caixas metálicas no perímetro do pavimento era que isso favorecia um *layout* da área de produção mais simples e mais fácil de ser elaborado e implementado, pois não interferia na execução dos PTs.

Essa solução de fixar as caixas metálicas na lateral da estrutura foi baseada em uma solução adotada pela equipe de produção nos pavimentos já executados, conforme mostra a Figura 74.

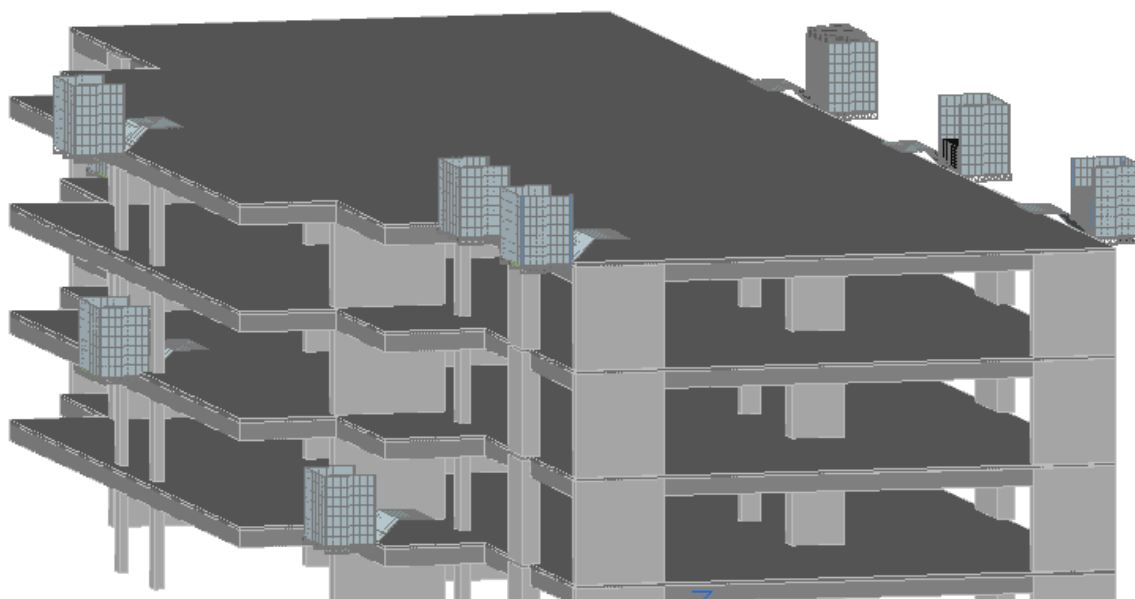
Figura 74 – Solução para transporte de recursos com a grua nos pavimentos inferiores



Fonte: do autor

Foi definido que seriam utilizadas várias caixas metálicas simultaneamente, pois isso permitiria o posicionamento de algumas delas nos pavimentos em que era feita a desforma e, com isso, os recursos poderiam ser acondicionados diretamente nas caixas ao invés de em pilhas no pavimento, como mostra a Figura 75.

Figura 75 – Posicionamento de várias caixas metálicas na estrutura



Fonte: do autor

Dentre os benefícios do uso simultâneo de várias caixas metálicas estão: (a) melhora na organização dos pavimentos onde corria a desforma; (b) evitar a movimentação desnecessária dos recursos, visto que, durante a desforma, eles já seriam acondicionados no meio que seriam transportados, evitando a movimentação de pilhas de recursos; (c) melhora no aproveitamento do tempo da grua, pois não seria necessário aguardar a colocação dos recursos no meio de transporte no momento em que o recurso fosse necessário, a grua poderia içar as caixas já cheias.

O uso dessas caixas metálicas fixadas na lateral da estrutura geraria duas dificuldades com os equipamentos de proteção coletiva: (a) ao se esvaziar uma caixa no pavimento em que ocorre a montagem da estrutura e removê-la para um pavimento inferior, o trecho onde a caixa estava teria que ter o guarda corpo montado; (b) para possibilitar o deslocamento vertical das caixas fixadas nos pavimentos inferiores, seria necessário desfazer um trecho das bandejas de proteção periférica. Apesar dessas dificuldades identificadas, a implementação dessa solução simplificaria a especificações de *layout* e da rotina da grua. Por isso, ficou acordado com o engenheiro da obra que

durante a implementação dessa solução seriam observadas possíveis soluções para as dificuldades relacionadas à segurança do trabalho.

Algumas imagens comparativas são apresentadas na Figura 76.

Figura 76 – Comparação do pavimento atual x uso da caixa metálica



Fonte: do autor

- e) Rotina dos recursos compartilhados: durante o acompanhamento dos primeiros ciclos da estrutura, verificou-se que a grua era o principal recurso compartilhado por diversas atividades. Por esse motivo, decidiu-se elaborar uma programação diária para ser seguida pelo operador. A Figura 77 apresenta um exemplo desenvolvido para a elaboração da programação da grua.

Figura 77 – Exemplo de programação da grua

DATA 05/08/2014 DIA DA SEMANA: TERÇA-FEIRA

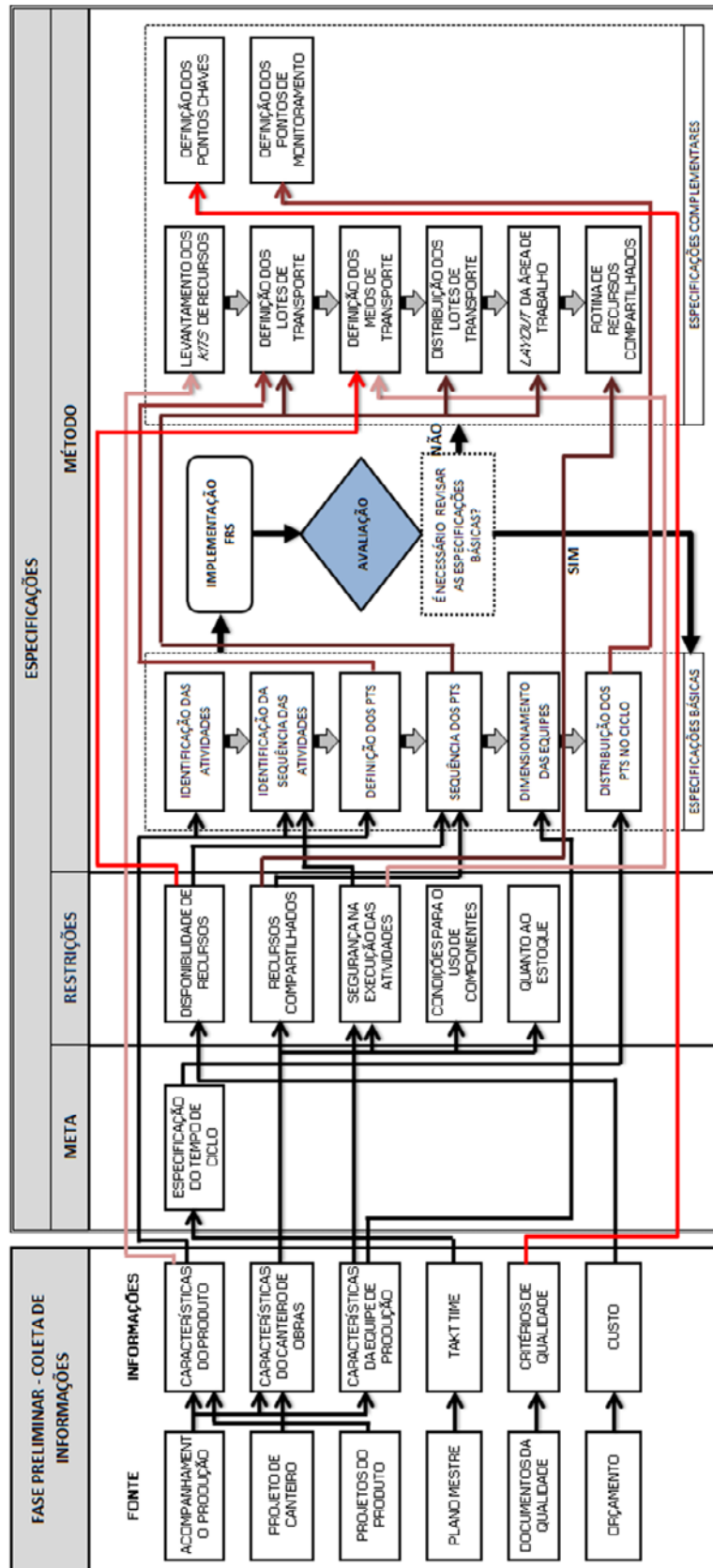
	HORA	ATIVIDADE
MANHÃ	07:00	TRANSPORTE DE RECURSOS (FORMAS, ARMADURAS)
	08:00	MONTAGEM DE PRE-VIGAS
	09:00	MONTAGEM DE PRE-VIGAS
	10:00	MONTAGEM DE PRE-VIGAS
	11:00	TRANSPORTE DE RECURSOS
	12:00	ALMOÇO
TARDE	13:00	ATIVIDADES EMERGENCIAIS
	14:00	MONTAGEM DE PRE-VIGAS
	15:00	MONTAGEM DE PRE-VIGAS
	16:00	CONCRETAGEM DE PILARES
	17:00	CONCRETAGEM DE PILARES
	18:00	ATIVIDADES EMERGENCIAIS
	19:00	

Fonte: do autor

- f) Pontos de monitoramento: segundo apresentado na revisão da literatura, os pontos de monitoramento são pontos de verificação do cumprimento da meta, de forma que seja possível adotar ações corretivas se um desvio com relação à meta for verificado. Assim, os principais pontos de monitoramento identificados ao longo do acompanhamento da produção foram as datas de concretagens, tanto de pilares quanto da laje. No entanto, a especificação de PTs com duração de um período e a distribuição dos PTs ao longo do ciclo estabeleceram pontos de monitoramento em cada período. Por exemplo, pelo ciclo apresentado na Figura 47, era possível identificar que, no fim da manhã do terceiro dia, o primeiro PT de montagem de pré-vigas deveria estar concluído. Caso não estivesse concluído, era possível tomar alguma decisão como mobilizar mais operários para montagem de pré-vigas ou priorizar o uso de equipamentos compartilhados, para que, no fim do terceiro dia, o primeiro e segundo PT de montagem de pré-vigas estivessem concluídos.

A Figura 78 apresenta as relações identificadas durante as especificações complementares, apresentadas ao longo do texto.

Figura 78 – Relações das especificações complementares



Fonte: do autor

5.2.2.3.1. Implantação das especificações referente aos recursos

Durante a nona reunião, o engenheiro da obra informou que havia realizado uma reunião com os encarregados e o mestre de obras, na qual ele apresentou as soluções para serem adotadas no transporte dos recursos. Foi ressaltada a importância de se transportar os recursos em lotes maiores, pois isso reduziria a quantidade de transporte manual.

Durante as três reuniões semanais seguintes, foram apresentadas diversas situações que evidenciaram que a equipe de produção não havia aderido às soluções adotadas para a disponibilização dos recursos:

- a) A equipe de armação não seguiu os lotes de transporte das armações dos pilares. O encarregado da equipe de armação alegou que estava com pouca mão de obra de armadores e, por isso, os pilares eram içados um a um conforme as armações ficavam prontas. Dessa forma, a grua era subutilizada, fazendo diversos deslocamentos com uma carga inferior à suportada. O engenheiro da obra informou seriam tomadas ações corretivas para solucionar o problema;
- b) O protótipo da caixa metálica foi construído e disponibilizado para a equipe de carpintaria. No entanto, ao longo de três semanas, a equipe não utilizou a caixa metálica para transporte dos recursos. Segundo o engenheiro da obra, a equipe preferia o transporte manual para não ficarem dependentes da grua;

Durante o acompanhamento da produção, foi identificado que o operador da grua não seguia sua rotina e que diversas solicitações eram feitas diretamente a ele, que atendia as situações mais emergenciais. Ou seja, em determinados momentos, a grua era solicitada em diversas frentes de trabalho, o que a deixava sobrecarregada. A Figura 79 mostra uma situação em que a grua estava sendo utilizada na montagem de pré-vigas e, ao mesmo tempo, na montagem de formas de pilares. Assim, havia momentos em que a grua estava com uma pré-viga içada e era necessário deixar a pré-viga no piso do pavimento para poder atender uma demanda da montagem de formas. Essa

situação gerava movimentos desnecessários, que poderiam ser evitados com a elaboração da rotina da grua.

Figura 79 – Situação de sobrecarga da grua



Fonte: do autor

Em conversa com o engenheiro da obra, ficou definido que seria mantido o transporte manual dos recursos sem o uso de meios de transporte e *layouts* definidos na segunda etapa do projeto da produção. O engenheiro da obra afirmou que a equipe de produção ficaria responsável por definir o transporte, pois, para ele, os meios de transportes elaborados sobrecarregariam ainda mais a grua, que já operava próximo a sua capacidade máxima.

Foi possível observar que as especificações relacionadas aos recursos exigiram uma mudança na maneira da equipe de produção trabalhar. Assim, para serem implementadas, é necessário grande comprometimento da equipe. Esse

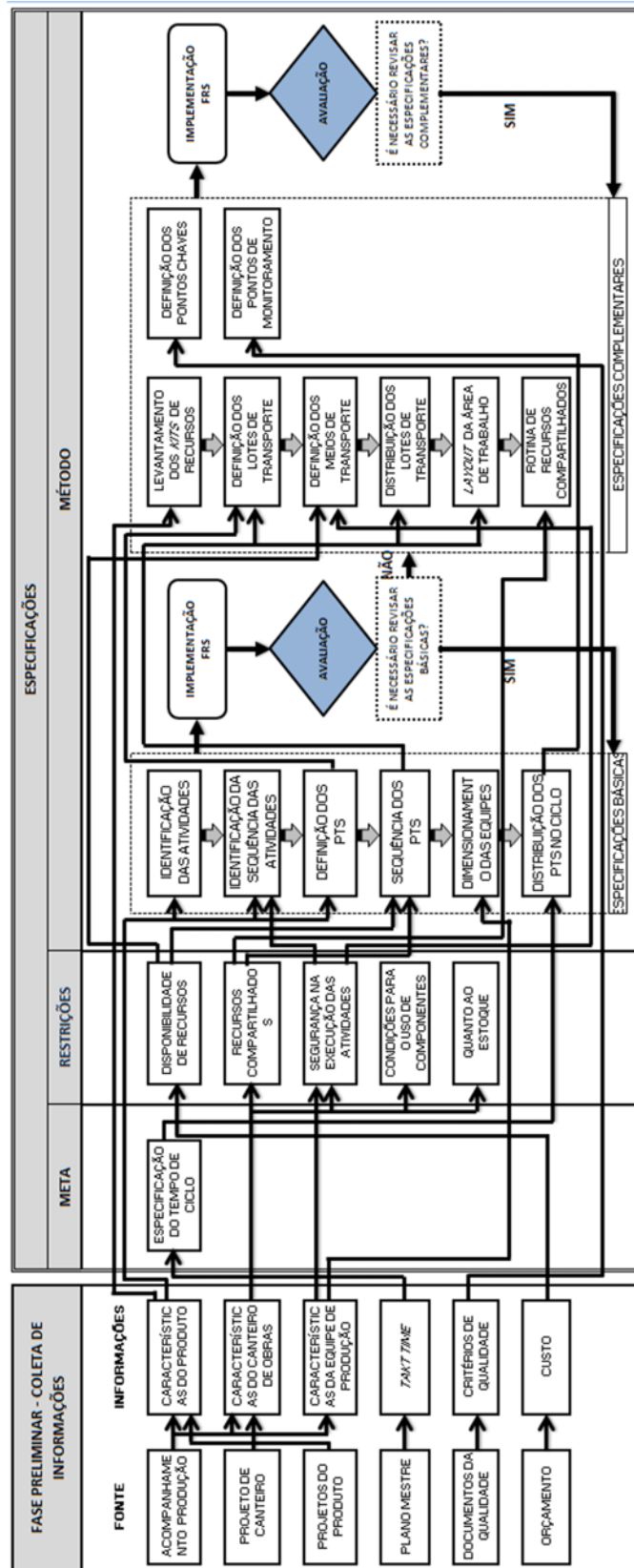
comprometimento deveria ser alcançado por meio de um trabalho, em longo prazo, de convencimento dos operários.

Uma possibilidade identificada para favorecer o convencimento da equipe de produção a aderir às especificações relacionadas aos recursos é de utilizar a implementação das especificações para coletar dados que indiquem a contribuição dos meios de transportes e das rotinas de compartilhamento de recursos na melhoria da produção. Disponibilizar essas informações aos encarregados e operários poderia contribuir para a aprendizagem da equipe.

Para o engenheiro da obra, uma vez executados os primeiros ciclos da estrutura, para as próximas repetições não é necessário especificar os *kits* de recursos. Basta a equipe de produção organizá-los em lotes no ato da desforma e transportá-los até a nova área de produção.

Considerando a impossibilidade de consolidação das fases complementares, não foi possível analisar a implementação e a revisão das especificações complementares. No entanto, durante o desenvolvimento dessas especificações, foram identificadas as possíveis relações entre os elementos que compõem o escopo do projeto da produção. Essas relações são representadas na Figura 80.

Figura 80 – Delineamento para elaboração do projeto da produção



Fonte: do autor

- a) Os PTs possibilitaram uma melhor interação entre as equipes, permitindo que determinadas equipes iniciassem suas atividades em paralelo com outras. Por exemplo, a equipe de armação não precisava esperar todo um lado da laje estar pronto pra iniciar suas atividades de montagem de armação. Ela iniciava a montagem assim que o primeiro pacote de trabalho de forma e assoalho fosse concluído.
- b) Facilidade de identificação dos pontos críticos que apresentavam maior complexidade na montagem da estrutura, permitindo a busca por soluções pontuais.
- c) Melhoria no controle das equipes, pois, com os PTs especificados, um atraso de uma equipe era facilmente percebido. Com isso, os próprios funcionários atuavam no controle de seus pares.
- d) A participação da equipe de produção na definição dos PTs e no sequenciamento possibilitou o estabelecimento de decisões mais assertivas.
- e) O entendimento e o convencimento da equipe de produção sobre a atuação em PTs possibilitou uma maior motivação dos operários. Isso fez com que eles próprios superassem algumas dificuldades relacionadas a não disponibilização adequada de recursos.

Outra contribuição do projeto da produção foi identificada pelos responsáveis pelo planejamento da obra, segundo o engenheiro, a estabilização do ciclo conforme o projeto da produção favoreceu o planejamento de curto prazo. A partir da análise dos documentos do planejamento semanal da empresa nos pavimentos em que houve o acompanhamento do pesquisador foi possível elaborar a tabela apresentada na Figura 82 para identificar a variação no índice de PPC (Percentual de Planos Completos).

Figura 82 – Análise PPC da estrutura dos pavimentos acompanhados pelo pesquisador

SEMANA	TAREFAS		PPC	PAVIMENTOS	OBSERVAÇÕES	MÉDIA PPC
	PROGRAMADAS	REALIZADAS				
1	16	11	68,75%	1º PAV	PAVIMENTOS ONDE AS ESPECIFICAÇÕES DO PP FORAM REVISADAS	69,74
2	15	10	66,67%			
3	12	9	75,00%			
4	13	8	61,54%	2º PAV		
5	14	11	78,57%	3º PAV		
6	15	11	73,33%			
7	14	9	64,29%	4º PAV		
8	18	12	66,67%			
9	19	12	63,16%	5º PAV		
10	17	12	70,59%			
11	17	13	76,47%	6º PAV	PAVIMENTOS ONDE AS ESPECIFICAÇÕES DO PP FORAM PARCIALMENTE IMPLEMENTADAS	74,85
12	15	12	80,00%			
13	18	16	88,89%	7º PAV		
14	18	16	88,89%			
15	16	11	68,75%	8º PAV		
16	21	14	66,67%			
17	20	14	70,00%	9º PAV		
18	20	17	85,00%			
19	21	17	80,95%	10º PAV		
20	21	16	76,19%			
21	20	14	70,00%	11º PAV		
22	17	12	70,59%			

Fonte: do autor

É possível observar que o PPC médio para os pavimentos em que as especificações do projeto da produção estavam implementadas apresentou uma melhoria de 5%.

Segundo o engenheiro da obra, a estabilização do ciclo facilitou a previsibilidade das atividades que seriam executadas ao longo da semana, pois a execução da estrutura segundo os PTs especificados no projeto da produção possibilitava o comprometimento da equipe de produção com PTs mais definidos.

5.2.2. Considerações finais sobre o estudo de caso

O estudo de caso realizado permitiu compreender o cenário de execução da estrutura de concreto armado de um empreendimento multipavimentado. Diante desse cenário, buscou-se apresentar um conjunto de orientações e procedimentos a serem

adotados na elaboração do projeto da produção e na sua implementação para que padrões possam ser estabelecidos.

Para a elaboração do projeto da produção no estudo realizado, foi considerada a interdependência das especificações encontradas na revisão bibliográfica como justificativa para que o projeto da produção fosse elaborado de forma evolutiva, implementando as especificações parcialmente como forma de consolidar as decisões antes de estabelecer novas especificações.

Durante a realização do estudo de caso, foi possível implementar apenas as especificações relacionadas aos PTs e seu sequenciamento, pois a dificuldade de convencer a equipe de produção a cumprir as especificações relacionadas à disponibilização e compartilhamento dos recursos definidas no projeto da produção fez com que essas especificações não fossem implementadas efetivamente.

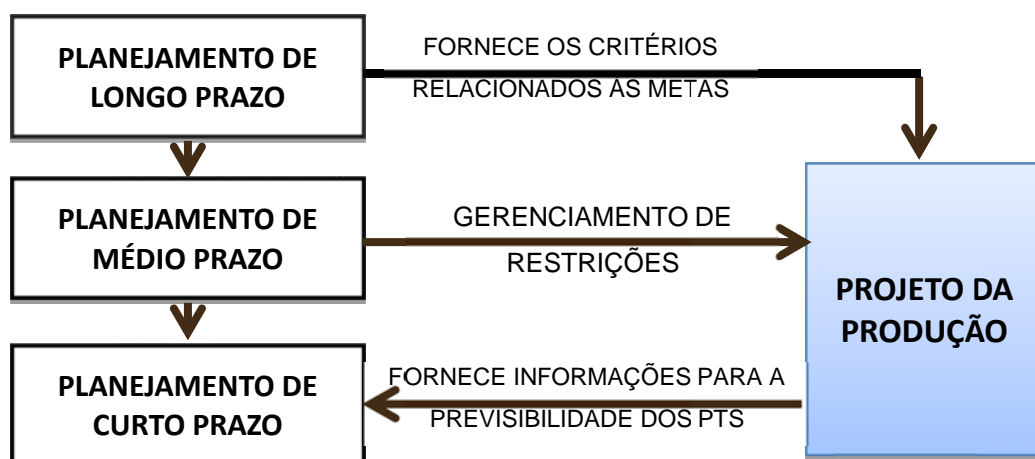
6. CONCLUSÃO

A realização desta pesquisa buscou responder a questão principal de pesquisa apresentada no item 1.3. Foi proposto um conjunto de orientações e procedimentos para a elaboração do projeto da produção da etapa estrutura de um empreendimento vertical.

Inicialmente, procurou-se entender as principais características dos sistemas de produção da construção civil e os diferentes escopos dos projetos voltados á produção. Em seguida, foi desenvolvido um estudo de caso que consistiu no desenvolvimento do projeto da produção da etapa estrutura de um empreendimento vertical. Esse desenvolvimento ocorreu em reuniões com a participação do engenheiro responsável pela obra, uma estagiária, o pesquisador e, quando possível, a participação dos encarregados das equipes de produção e do mestre de obras. O pesquisador forneceu os conceitos e orientou a elaboração e implementação do projeto da produção com o objetivo de identificar as orientações e procedimentos para a elaboração do projeto da produção.

A primeira contribuição do estudo desenvolvido foi a identificação da interface do projeto da produção com os diferentes horizontes de planejamento do empreendimento é representada na Figura 83.

Figura 83 – Interface entre Planejamento e o Projeto da produção



Fonte: do autor

O planejamento de longo prazo forneceu as informações relacionadas às metas no projeto da produção. No estudo de caso realizado, o planejamento de longo prazo, representado pelo cronograma geral da obra, foi a principal fonte de informação para a identificação do *takt-time*, fundamental na elaboração do projeto da produção.

No planejamento de médio prazo, a principal interface identificada está relacionada às restrições. No estudo de caso realizado, verificou-se que a não remoção das restrições de disponibilização de recursos impactou a implementação das especificações básicas. Por isso, o planejamento de médio prazo deve levantar as restrições a serem removidas e o detalhamento da maneira como o recurso deve ser disponibilizado na frente de trabalho deve ser feito no projeto da produção.

A interface com o planejamento de curto prazo foi identificada na elaboração e implementação do projeto da produção que favoreceu a programação de PTs no curto prazo apenas com as restrições efetivamente removidas.

A bibliografia consultada recomenda que a elaboração do projeto da produção das etapas consideradas críticas nos empreendimentos ocorra de três a seis semanas antes da execução das atividades (HOWELL; BALLARD, 1999). No estudo de caso realizado, a primeira fase da elaboração do projeto da produção consistiu no levantamento de informação que foi feita através de um acompanhamento da produção e consulta de documentos, tais como projetos do produto e do canteiro de obra, documentos da qualidade, orçamento e planejamento da obra.

Esse acompanhamento preliminar da produção deve buscar informações para subsidiar a elaboração do projeto da produção. No entanto, essa fase inicial deve ser abreviada para garantir a implementação das especificações do projeto da produção nos primeiros ciclos de execução da etapa projetada. Uma maneira identificada para reduzir o tempo de coleta de informações é buscar a participação de representantes das equipes de produção na elaboração do projeto da produção. A participação desses representantes contribuiu para a identificação de aspectos práticos, como sequência executiva e viabilidade das especificações do projeto da produção.

As primeiras especificações do projeto da produção foram: a especificação dos PTs e a sua sequência de execução ao longo do ciclo previsto. No estudo de caso, buscou-se estabelecer os PTs de forma que eles durassem apenas um turno. Isso beneficiou o monitoramento ao longo do acompanhamento da produção. Outro benefício, buscado na especificação dos PTs, foi a redução do tamanho do lote. Tendo em vista as características do sistema de produção da construção civil, a redução do tamanho do lote não está associada somente à redução do número de produtos produzidos, mas, também, à delimitação de espaços físicos menores.

Em seguida, foram implementadas as especificações relacionadas aos PTs na execução do primeiro ciclo da estrutura. Um aspecto positivo dessa implementação parcial foi que, para a equipe de produção, repassou-se uma quantidade menor de especificações que deveriam ser seguidas, comparada aos estudos de Kremer (2016). No entanto, a ausência das especificações dos elementos referentes aos recursos fez com que a responsabilidade de como transportá-los e como disponibilizá-los no local de trabalho ficasse inicialmente na responsabilidade da equipe de produção.

Essa situação possibilitou que os responsáveis pela elaboração do projeto da produção visualizassem em canteiro possíveis soluções a serem utilizadas no transporte dos recursos. Outro aspecto positivo é que foi possível identificar os recursos necessários em cada atividade diretamente no local do uso.

Como deficiência de não haver especificado os demais elementos que compõem o projeto da produção, foram verificadas diversas situações de transporte de recursos inadequadas e *layout* confuso do local de trabalho. Isso, segundo a bibliografia, interfere no desempenho da equipe de produção. Porém, entende-se que essas situações poderiam ser resolvidas nos ciclos seguintes com a implementação das especificações relacionadas aos recursos, caracterizando o desenvolvimento evolutivo do projeto da produção. Para compensar as perdas de produtividade decorrente das dificuldades na disponibilização dos recursos, optou-se pela utilização de *buffers* para garantir a estabilização do ciclo. Uma vez alcançada essa estabilidade na execução das atividades, os *buffers* podem ser reduzidos. O principal exemplo identificado no estudo de caso foi a redução da mão de obra obtida após a estabilização do tempo de ciclo.

O implementação das especificações relacionadas aos PTs possibilitou um melhor entendimento da equipe de produção dos benefícios de se trabalhar em lotes menores. Esse entendimento contribuiu para a motivação dos operários levando-os a superar as dificuldades decorrentes da disponibilização e transporte de recursos inadequados.

Ainda, com relação a esta etapa de implementação em caráter experimental, é importante destacar a possibilidade de coletar dados com o propósito de apoiar a aprendizagem da equipe de produção, aspecto importante no *First Run Study*. A opção de testar nos primeiros ciclos as duas estratégias de produção (lotes maiores e menores) e obter dados de desempenho da produção contribuiu para o entendimento dos funcionários quanto aos benefícios de se trabalhar com lotes de produção menores. A partir da consolidação das especificações relacionadas aos PTs foram especificados os demais elementos do projeto da produção. Nessas especificações, foi possível concluir que os recursos compartilhados devem ser considerados elementos importantes no projeto da produção devido aos seguintes aspectos: (a) sua relação direta com o custo da obra; (b) quando são utilizados próximos a sua capacidade máxima podem adicionar variabilidade na produção; e (c) deve-se buscar uma simplificação na especificação das rotinas de utilização desses recursos para tornar a elaboração do projeto da produção mais ágil, antecipando a implementação e intensificando os ciclos de aprendizagem e refinamento do projeto.

Assim, a elaboração do projeto da produção e a definição de padrões devem ser consideradas duas alternativas: (a) orgânica, uma vez que envolve a participação de pessoas e aspectos motivacionais em sua implementação; e (b) evolutiva, pois as especificações devem ser implementadas por etapas, buscando simplificar e agilizar sua elaboração e implementação.

As orientações identificadas ao longo do estudo realizado devem apoiar a elaboração do projeto da produção em ambientes de complexidade elevada, como é o caso da construção civil em que vários fatores precisam ser especificados de forma coordenada: fluxo de trabalho (operação); fluxo da produção (processo); fluxo de alimentação de recursos (materiais, equipamentos, espaço).

Em síntese, o problema de pesquisa proposto nesse trabalho foi respondido por meio de um conjunto de orientações e procedimentos que devem ser adotados na elaboração do projeto da produção e na sua implementação para contribuir com o estabelecimento de padrões de produção, reduzindo assim a variabilidade nos processos produtivos na construção civil.

6.1. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A partir do estudo realizado, são apresentadas as seguintes sugestões para futuros trabalhos:

- a) Aplicar o delineamento proposto para a elaboração do projeto da produção em outras etapas da construção civil, para avaliar a sua aplicabilidade em outros contextos.
- b) Desenvolver um novo estudo de caso, buscando implementar todas as especificações para consolidar um modelo definitivo para a elaboração e implementação do projeto da produção para a etapa de estrutura em empreendimentos verticais.
- c) Investigar o aspecto de aprendizagem na implementação parcial de elementos que compõem o padrão.
- d) Desenvolver ferramentas que contribuam com a coleta de dados ao longo da implementação das fases do projeto da produção, buscando fornecer informações para a equipe de produção.

REFERÊNCIAS

ALVES, T.C.L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso.** 2000. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ALVAREZ, R.R; ANTUNES JUNIOR, J.A.V. **Takt-time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.** *Gestão & Produção*, v.8, n.1, p. 1–18, 2001

ANTUNES, J. A. V. **O mecanismo da função produção: a análise dos sistemas produtivos do ponto de vista de uma rede de processos e operações.** *Revista produção*. Belo Horizonte: v.4, n.1, p.33–46, 1994.

ASKIN, R. G.; GOLDBERG, J. B. **Design and Analysis of Lean Production Systems.** New York: John Wiley & Sons, 2002.

BALLARD, G. **The last planner system of production control.** 2000. 146 p. Thesis (Doctor of Philosophy) – The University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. **An Application of Lean Concepts and Techniques to Precast Concrete Fabrication**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 10., Gramado, 2002. Proceedings... Gramado: IGLC/UFRGS, 2002.

BALLARD, G. **Construction: one type of project production system.** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney, 2005. Proceedings... Sydney: IGLC, 2005.

BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. **Aiming for continuous flow:** white paper 03. Lean Construction Institute, 1999.

BALLARD, G; HOWELL, G. **What Kind of Production is Construction?** In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., Guarujá, 1998. Proceedings... Guarujá: IGLC/UFRGS, 1998.

BALLARD, H. G.; HOWELL, G. **Implementing lean construction: improving downstream performance.** Em: ALARCÓN, L. (Ed.). *Lean construction*. Rotterdam: Balkema, 1997. p. 111–126.

BALLARD, G.; KOSKELA, L.; HOWELL, G.; ZABELLE, T. **Production System Design: Work Structuring revisited.** LCI White Paper 11, 2001.

BAYAZIT, N. **Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research,** Massachusetts Institute of Technology. *Design Issues*, v. 20, n. 1, p. 16–29, 2004.

BERNARDES, M. M. e 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.

BERTELSEN, S. **Construction as a Complex System**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION, 11., Blacksburg, 2003. Proceedings... Blacksburg: IGLC, 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **PIB Brasil e Construção Civil**. 2016. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>. Acesso em: 10 de maio de 2016.

CAMPOS, V. F. **Qualidade total**. Padronização de Empresas. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços LTDA, 2004.

COELHO, H. O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2003.

COELHO, J. B. S.; ANTUNES, J. A. V.; LEIS, R. P. **Sistema de Produção Enxuto e Sistema Sócio-Técnico: Impactos na Organização do Trabalho em Uma Empresa de Medidores de Energia**. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, XXXI., 2007, Rio de Janeiro, RJ.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P. ; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. . **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. v. 1. 181p

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo 2013.

FABRÍCIO, M. M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. 2002. Tese (doutorado) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo – USP, São Paulo 2002.

FAZINGA, W. R. **Particularidades da construção civil para implantação do trabalho padronizado**. 2012. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2012.

FIREMAN, M. C. T. **Proposta de método de controle integrado produção e qualidade, com ênfase na medição de perdas por *making-do* e retrabalho**. 2012. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

FORMOSO, C. T.; SANTOS, A. D.; POWELL, J. **An Exploratory Study on the Applicability of Process Transparency in Construction Sites** In: JOURNAL OF CONSTRUCTIVE RESEARCH, 35–54, 2002.

GAITHER; FRAZIER,. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pioneira Tomson Learning, 2005.

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

HACKETT, V., PASQUIRE, C., STRATTON, R., AND KNIGHT, A. **The use of first run studies to develop standard work liquefied natural gas plant refurbishment**. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Perth, Australia, pp. 671–680, disponível em www.iglc.net

HAPIN, D. H.; WODHEAD, R. W. **Design of Construction and Process Operations**. John Wiley & Sons, 1976.

HAYES, R. H; WHEELWRIGHT, S. C. **Link Manufacturing Process and Product Life Cycles**. Harvard Business Review, Harvard Business School, Boston, MA, 1979.

HOLMSTRÖM, J., KETOKIVI, M., & HAMERI, A.-P. **Bridging Practice and theory: A design science approach**. Decision Sciences, 40(1), 65–88, 2009.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factoryphysics: foundation of manufacturing management**. Irving: McGraw–Hill, 2000.

HOWELL, G.; LAUFER, A.; BALLARD, G. **Interaction Between Subcycles: One Key to Improved Methods** In: JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, ASCE, 119, 1993.

HOWELL, G.; BALLARD, G. **Implementing Lean Construction: Understanding and Action**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., Guarujá, 1998. Proceedings... Guarujá: IGLC/UFRGS, 1998.

HOWELL, G.; BALLARD, G. **Design of Construction Operations**. In: LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE IMPLEMENTATION WORKSHOP, 4. 1999. Portland, OR.

HOWELL, G.; KOSKELA, L. **Reforming project Management: The Rof of Lean Construction**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8., Brighton, 2000. Proceedings... Brighton: IGLC, 2000

IMAI, M. **Kaizen: A estratégia para o sucesso competitivo**. 6ª ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2005.

ISATTO, E. L.; ZUCHETTI, M. **Aplicação do Mecanismo da Função Produção ao planejamento da produção seriada na construção** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XV., 2014, Maceió, AL.

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Pioneira, 1992.

KONDO, Y. **Human motivation: a key factor for management**. Tokyo: 3A Corp., 1991.

KOSKELA, L. **Management of Production in Construction: A Theoretical View**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., Berkeley, 1999. Proceedings... Berkeley: IGLC, 1999.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P. **On Foundations of Concurrent Engineering**. 1997

KOSKELA, L. **Application of the New Production to Construction**. Technical Report 72, Finland: CIFE, 1992.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298 p. Tese (Doctor of Philosophy) VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

KOSKELA, L. **Making-do: the eighth category of waste**. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., 2004, Elsinore, Denmark. **Proceedings...** Elsinore, 10 p. 2004.

KREMER, A. **Diretrizes para elaboração do projeto da produção para atividades da construção civil**. 2016. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2016.

LACERDA, D. P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção**. Gest. Prod., São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741–761, 2013

LIKER, J. K.; MEIER, D. **O modelo Toyota: manual de aplicação**. Porto Alegre, Bookman, 2007. 432 p.

MARCH, S. T.; SMITH, G. F. **Design and natural science research in Information Technology**. *Decision Support Systems*, v. 15, p. 251–266, 1995.

MARCHESAN, P. R. C. **Modelo Integrado de Gestão de Custos e Controle da Produção para Obras Civis**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. **Administração da Produção**. São Paulo . Saraiva. 2005.

MARTUCCI, R. **Projeto Tecnológico para Edificações Habitacionais: Utopia ou Desafio?** 1990. 438p. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo.

- MELHADO, S. B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção.** 1994. 294p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo.
- MELHADO, S. B.; FABRICIO, M. M. **Projeto da produção e projeto para produção: discussão e síntese de conceitos** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. Anais. Florianópolis: UFSC/ANTAC, 1998.
- MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da Produção para MBAs.** Porto Alegre: Bookman, 2002.
- MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações.** 5 ed. São Paulo: Pioneira, 2000.
- NOVAES, C. C. **Um enfoque diferenciado para o projeto de edificações: projetos para produção.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO 17., 1997, Gramado, RS. Anais. Porto Alegre: UFRGS.PPGEP, 1997.
- O'CONNOR, J. T., TUCKER, R. L. **Industrial project constructability improvement.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 112, n. 1, p.69–81, 1986.
- OHNO, T. **Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.
- PICCHI, F.A. **Sistemas da Qualidade: Uso em Empresas de Construção.** São Paulo, 1993. 462p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós graduação em Engenharia Civil e Urbana, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1993.
- PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENTS TEAM. **Standard work for the shopfloor.** New York: Productivity Press, 2002.
- RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção.** 5a ed. São Paulo: Pioneira, 1995.
- RODRIGUES, A. A. **O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RONEN, B. **The complete kit concept.** International Journal of Production Research, London, v. 30, n. 10, p. 2457–2466, 1992.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo: um Guia de Ação para Gerentes, Engenheiros e Associados da Produção.** São Paulo: Lean Institute, 2002.
- ROTHER, M.; SHOOK, J.: **Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda.** The Lean Enterprise Institute, Brookline, EUA, 1998.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia.** Tese (Doutorado) –Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; AND ROZENFELD, O. **Visualization of Work Flow to Support Lean Construction.** In: Journal of Construction Engineering and Management, 135(12), 1307–1315, 2009.

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

SAFFARO, F.A.; SILVA, A. C.; HIROTA, E.H. **Um diagnóstico da padronização em canteiro de obras: estudo de caso em empresas de Londrina/PR.** XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Fortaleza. Ceará. Outubro. 2008.

SAMPIERI, Roberto Hernández; COLLADO, Carlos Hernández; LUCIO, Pilar Baptista. **Metodologia de pesquisa.** 5ª Edição. Porto Alegre RS. Editora Penso, 2013.

SANTOS, A. **Application of Production Management Flow Principles in Construction Sites.** 1999. Tese (Doutorado em Construção Civil) – University of Salford. Salford.

SAURIN, T. A.; FORMOSO C. T.. **Planejamento de Canteiros de Obra e Gestão de Processos.** (Recomendações Técnicas HABITARE v. 3). Porto Alegre: ANTAC, 2006.

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

SHINGO, S. **A Study of the Toyota Production System From an Industrial Engineering Viewpoint.** Japan Management Association, 3–1–22, Shiha–Park Minatu–Hu, Tokyo, Japan, 1981

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial.** 3rd ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção.** 3ª Edição São Paulo: Atlas, 2009.

SCHMITT, J, F. **A systemic concept for operational design.** 2006. Disponível em: <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/usmc/mcwl_schmitt_op_design.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2015.

SOMMER, L. **Contribuições para um modelo de identificação de perdas por improvisação em canteiro de obras.** 2010, 150p. Dissertação de Mestrado – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOARES, A. C.; BERNARDES, M. M. S.; FORMOSO, C. T. **Improving the Production Planning and Control System in a Building Company: Contributions after Stabilization.** Proceedings of the 10th Annual Conference of the IGLC. Gramado. 2002.

SOUZA, R. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte.** São Paulo, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Urbana, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

SPEAR, S.; BOWEN, H. K. **Decoding the DNA of the Toyota Production System.** Harvard Business Review, Boston, v. 77, p. 96–106, Sep/Oct. 1999.

TATUM, C. B. **Improving constructability during conceptual planning.** Journal of Construction Engineering and Management, v. 113, n. 2, p.191–207, June, 1987.

TREVILLE, S; ANTONAKIS, J. **Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues.** In: Journal of Operations Management, v. 24, n. 2, p. 99–123, 2005.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Research in Information Systems.** 2009. Disponível em: <<http://desrist.org/design-research-in-information-systems>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

VAN AKEN, J.E. **Management research as a design science: Articulating the research products of mode 2 knowledge production in management.** British Journal of Management, 2005.

VIVAN, A. L. **Projetos para produção de residências unifamiliares em Light Steel Framing.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

WILLIAMS, T. M. **Modeling complex.** New York: John Wiley & Sons, 2002

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman,2002.