

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

**Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas  
pré-fabricados *Engineer-to-order***

**Fernanda Saidelles Bataglin**

Porto Alegre  
2017

## CIP - Catalogação na Publicação

Bataglin, Fernanda Saidelles  
Modelo para gestão dos processos logísticos em  
obras de sistemas pré-fabricados engineer-to-order /  
Fernanda Saidelles Bataglin. -- 2017.  
153 f.  
Orientador: Carlos Torres Formoso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-  
RS, 2017.

1. Engineer-to-order. 2. processos logísticos. 3.  
Building Information Modeling. 4. simulação 4D. I.  
Formoso, Carlos Torres, orient. II. Título.

Fernanda Saidelles Bataglin

**MODELO PARA GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS  
EM OBRAS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS *ENGINEER-  
TO-ORDER***

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

Porto Alegre  
2017

**FERNANDA SAIDELLES BATAGLIN**

**MODELO PARA GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS  
EM OBRAS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS *ENGINEER-  
TO-ORDER***

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

Porto Alegre, 31 de março de 2017

Prof. Carlos Torres Formoso  
PhD pela Universidade de Salford, Grã-Bretanha  
Orientador

Prof. Nilo Cesar Consoli  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Tarcísio Abreu Saurin (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

**Prof. Dayana Bastos Costa (UFBA)**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

**Prof. Eduardo Luis Isatto (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Dedico este trabalho a minha família, pelo amor e incentivo em todos os momentos da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Carlos Torres Formoso, pela oportunidade, pelo apoio e paciência. Por compartilhar seu conhecimento comigo ao longo desse trabalho que, com certeza, contribuíram para o desenvolvimento de minha formação pessoal e profissional.

À família NORIE pelo acolhimento durante esse período.

Agradeço às minhas colegas do grupo de gerenciamento, que se tornaram grandes amigas: Caroline Valente, Cynthia Hentschke, Daniela Viana, Guillermina Peñaloza, Juliana Parise, Lucila Sommer e Tatiane Scaramussa, por nossas terapias coletivas, com momentos de descontração e lanches saborosos. E também pelas discussões e sugestões acerca de conceitos importantes para nossos trabalhos.

Obrigada mais que especial para a Dani, que, com sua alegria contagiante, sempre me ajudou, principalmente com suas fórmulas mágicas do Excel e suas ideias sensacionais.

Aos bolsistas de iniciação científica Ana Julia e Débora que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço às empresas e seus colaboradores pela oportunidade e apoio no desenvolvimento da pesquisa. Em destaque, ao Álvaro Prestes, à Marinna Pivatto e ao Marcelo Poloni que representavam a empresa A no empreendimento em que o principal estudo foi desenvolvido.

À CAPES e ao CNPq pela bolsa de pesquisa que possibilitou dedicação exclusiva a pesquisa.

Agradeço à minha família por todo amor e apoio. Em especial à minha avó Leda, que não mede esforços para me ver feliz e sempre me incentivou a buscar mais.

Ao meu amor e companheiro de todas as horas, Macklini Dalla Nora, pelo amor e dedicação, que me encorajam a enfrentar a vida com leveza.

A todos os meus amigos, em especial ao Lucas Tassinari e à Graziela Rubin por sempre me acolherem com carinho em POA e pelos momentos de distração.

Enfim, agradeço a Deus por me proporcionar essa vida cheia de alegrias e pessoas especiais ao meu redor.

“O dia está na minha frente esperando para ser o que eu quiser. E aqui estou eu, o escultor que pode dar forma a este dia.”

*Albert Einstein*

## RESUMO

BATAGLIN, F.S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados *engineer-to-order***. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A crescente necessidade de reduzir os prazos e os custos dos empreendimentos de construção e de melhorar a qualidade das edificações e as condições de trabalho tem incentivado a adoção de sistemas pré-fabricados. Entretanto, a adoção desses sistemas exige uma intensa troca de informações entre a obra e a fábrica, de forma a sincronizar a fabricação dos componentes, as operações logísticas e o processo de montagem na obra, principalmente em ambientes *engineer-to-order* (ETO). Em sistemas do tipo ETO, o pedido do cliente é realizado nas etapas iniciais do projeto, e existe um elevado grau de incerteza principalmente pelo desconhecimento das atividades a serem realizadas. Em ambientes com esse tipo de complexidade, a literatura sugere o uso de *Building Information Modeling* (BIM) para facilitar o compartilhamento de informações e apoiar a tomada de decisões nesses ambientes, assim como a aplicação de conceitos e princípios da filosofia da Produção Enxuta. Particularmente em relação aos processos de montagem, o uso de BIM 4D pode ser utilizado para simular e analisar algumas operações, apoiando o processo de planejamento e o controle da produção. Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados do tipo *engineer-to-order* com o apoio da modelagem BIM 4D. A abordagem metodológica adotada foi *Design Science Research* (DSR), sendo desenvolvidos dois estudos empíricos. O primeiro foi realizado em colaboração com uma empresa responsável pelo projeto, fabricação e montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto, sendo implementadas diversas melhorias em uma obra de uma universidade. O segundo, de caráter descritivo, foi desenvolvido em um empreendimento de construção de shopping center, sendo envolvidas uma empresa gerenciadora de obra e uma empresa que produziu e montou na obra a estrutura pré-fabricada de concreto. As principais contribuições da aplicação de BIM 4D como suporte à tomada de decisão referem-se ao aumento da confiabilidade do processo de montagem e da produtividade, principalmente pela clareza e rápida atualização das informações geradas pelos modelos 4D.

**Palavras-chave:** *Engineer-to-order*, processos logísticos, *Building Information Modeling*, simulação 4D.



## ABSTRACT

BATAGLIN, F.S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados *engineer-to-order***. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The growing need to reduce construction project duration and cost, as well as to improve building quality and working conditions, have encouraged the adoption of prefabricated building systems. However, the adoption of those systems requires an intense exchange of information between the construction site and the plant, in order to synchronize the production of components, logistic operations and site assembly, especially in an engineer-to-order (ETO) environment. In ETO systems, the client's order is placed at the early design stages, and a high degree of uncertainty exists mostly due to the lack of knowledge about the tasks to be carried out. The literature suggests the use of Building Information Modeling (BIM) to facilitate the sharing of information and to support decision-making in this type of environment, as well as the application of Lean Production concepts and principles. Particularly in relation to assembly process, the use of 4D BIM modelling can be used to simulate and analyze some operations, supporting production planning and control. This research work aims at to devise a model for the management of logistic processes for engineer-to-order prefabricated building systems, with the support of 4D BIM modelling. Design Science Research was the methodological approach adopted in this investigation, and two empirical studies were carried out. The first one was undertaken in close collaboration with a company that designs, manufactures, and assemble prefabricated concrete structures, and some improvements were implemented in a project for a higher education institution. The second was undertaken in a shopping mall project, and two companies were involved: a project management company, and a company that produced and assembled on-site pre-fabricated structures. As a result of this research work, the application of 4D BIM to support decision-making contributed to improve the reliability of the assembly process and to increase productivity, mainly due to the clarity and timeliness of the information made available by 4D models.

**Keywords:** *Engineer-to-order, logistics process, Building Information Modeling, 4D simulation.*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 MOTIVAÇÃO .....	19
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA .....	21
1.3.1 A Gestão Logística em obras de sistemas pré-fabricados <i>engineer-to-order</i> .....	21
1.3.2 Uso de BIM 4D .....	23
1.4 QUESTÕES DE PESQUISA .....	24
1.5 OBJETIVOS .....	25
1.6 DELIMITAÇÕES .....	25
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	25
<b>2 GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS DE EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>27</b>
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA GESTÃO DA PRODUÇÃO .....	27
2.1.1 Modelo do processo de produção.....	28
2.1.2 <i>Just-in-time</i> .....	30
2.1.3 Logística .....	31
2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS PRÉ-FABRICADOS .....	34
2.3 GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS ETO NA CONSTRUÇÃO.....	40
2.3.1 Planejamento do <i>layout</i> de canteiro de obras.....	41
2.3.2 Planejamento da logística de suprimentos.....	42
2.3.3 Vínculo do Planejamento e Controle da Produção (PCP) com a Gestão logística .....	43
<b>3 APLICAÇÃO DE BIM 4D À GESTÃO LOGÍSTICA</b> .....	<b>48</b>
3.1 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> .....	48
3.1.1 Nível de desenvolvimento (LOD).....	49
3.1.2 Modelagem 4D.....	50
3.2 SINERGIA <i>LEAN</i> E BIM.....	52
3.3 USO DE MODELOS 4D EM EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO.....	54
<b>4 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	<b>58</b>
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	58

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	61
4.3 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS .....	63
4.3.1 Estudo empírico E1 .....	63
4.3.1.1 Descrição da Empresa A.....	63
4.3.1.2 Descrição do Empreendimento E1 .....	66
4.3.1.3 Descrição das atividades realizadas .....	67
4.3.2 Estudo empírico E2 .....	73
4.3.2.1 Descrição das Empresas B e C.....	73
4.3.2.2 Descrição do Empreendimento E2.....	74
4.3.2.3 Descrição das atividades realizadas .....	75
4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO .....	76
<b>5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....</b>	<b>79</b>
5.1 ESTUDO EMPÍRICO E1.....	79
5.1.1 Diagnóstico inicial .....	79
5.1.1.1 Descrição dos empreendimentos da Empresa A .....	79
5.1.1.2 Descrição do Empreendimento E1 .....	86
5.1.1.3 Discussão .....	89
5.1.2 Etapas de implementação .....	90
5.1.2.1 Primeira etapa de implementação .....	90
5.1.2.2 Segunda etapa de implementação .....	97
5.1.2.3 Terceira etapa de implementação.....	105
5.1.3 Contribuições ao desenvolvimento do modelo final .....	117
5.2 ESTUDO EMPÍRICO E2.....	120
5.2.1 Descrição do Empreendimento E2.....	120
5.2.2 Contribuições ao desenvolvimento do modelo final .....	126
5.3 MODELO PARA GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS .....	129
5.3.1 Requisitos a serem considerados durante a modelagem.....	133
5.4 AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO .....	136
5.4.1 Utilidade .....	136
5.4.2 Facilidade de uso.....	137
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>139</b>
6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	139

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	141
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE A – PLANILHA PARA CONTROLE DOS PROCESSOS DE</b>	
<b>MONTAGEM .....</b>	<b>152</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão tradicional do processo de produção (Fonte: adaptado de Koskela, 1992) ..	28
Figura 2 – Produção como um processo de fluxo (Fonte: adaptado de Koskela, 1992).....	30
Figura 3 – Princípios relacionados ao conceito de geração de valor .....	30
Figura 4 – Esquema de localização do CODP (Fonte: adaptado de Olhager (2003)) .....	37
Figura 5 – Duas dimensões do CODP (Fonte: adaptado de Rudberg e Wikner (2004)) .....	37
Figura 6 – Processo de planejamento da produção (Fonte: adaptado de Laufer; Tucker, 1987) .....	44
Figura 7 – Sistema de planejamento tradicional e Sistema <i>Last Planner</i> (Fonte: adaptado de Ballard, 2000) .....	47
Figura 8 – Representação esquemática do LOD (Fonte: adaptado de BIMFORUM (2015))..	50
Figura 9 – Processos de modelagem 4D (Fonte: adaptado de Eastman <i>et al.</i> , 2011).....	51
Figura 10 – Interações entre as funcionalidades BIM e os princípios <i>Lean</i> relevantes para o presente trabalho .....	53
Figura 11 – Atividades correspondentes ao macro <i>layout</i> do empreendimento (Fonte: Bortolini (2015)) .....	57
Figura 12 – Elementos centrais da abordagem de pesquisa construtiva (Fonte: adaptado de Kasanen; Lukka; Siitonen, 1993) .....	59
Figura 13 – Delineamento do processo de pesquisa .....	61
Figura 14 – Segmentos de atuação da Empresa A.....	65
Figura 15 – Parâmetros para a divisão do empreendimento em setores .....	65
Figura 16 – Vista do Empreendimento E1 .....	66
Figura 17 – Planta baixa com a divisão dos setores .....	67
Figura 18 – Vista em corte do empreendimento.....	67
Figura 19 – Atividades do estudo empírico E1 .....	68
Figura 20 – Critérios para escolha do software de simulação 4D .....	69
Figura 21 – Escopo e participantes dos <i>workshops</i> .....	73
Figura 22 – Vista do Empreendimento E2.....	74
Figura 23 – Divisão da obra em setores .....	75
Figura 24 – Atividades do estudo empírico E2 .....	75
Figura 25 – Descrição dos constructos, subconstructos e fontes de evidências.....	77
Figura 26 – Visão geral do processo adotado pela Empresa A .....	80
Figura 27 – Exemplo do aprazamento de obra.....	80
Figura 28 – Extrato do plano de montagem inicial.....	82
Figura 29 – Plano por etapas da obra.....	83
Figura 30 – Extrato do plano de curto prazo .....	83
Figura 31 – Relatório do <i>status</i> das peças .....	84
Figura 32 – Processo existente para planejamento de cargas.....	85
Figura 33 – Extrato do planejamento das cargas .....	85
Figura 34 – Controle das peças solicitadas e montadas .....	86
Figura 35 – Índice de repetitividade das peças E1 .....	87
Figura 36 – Circulação de veículos e equipamentos.....	87

Figura 37 – Retrabalhos em peças .....	88
Figura 38 – Sistema de linha de vida com tubos .....	89
Figura 39 – Extrato do projeto detalhado em 2D .....	91
Figura 40 – Código usado para identificar cada componente do projeto 2D no modelo 3D... 92	92
Figura 41 – Exemplo do sistema de codificação para as atividades de montagem .....	92
Figura 42 – Síntese da duração das atividades de modelagem.....	93
Figura 43 – Instalação da grua no canteiro de obras.....	94
Figura 44 – Planejamento das equipes de montagem .....	95
Figura 45 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 1.....	96
Figura 46 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 1) .....	96
Figura 47 – Canteiro de obras ao término da montagem do Setor 1 .....	98
Figura 48 – <i>Layout</i> do canteiro de obras.....	98
Figura 49 – Área de estoque da torre moldada <i>layout</i> .....	99
Figura 50 – Posições da rampa de acesso .....	100
Figura 51 – Análise de viabilidade de sequência de montagem para o setor 2.....	101
Figura 52 – Causas das alterações nas cargas programadas.....	102
Figura 53 – Causas dos problemas nas peças .....	102
Figura 54 – Esquema da estratégia dos pontos de confirmação.....	104
Figura 55 – Painel com o sequenciamento de montagem.....	106
Figura 56 – Atividade de descarregamento de peças no canteiro de obras.....	107
Figura 57 – Comparação entre o plano (A, C) e a execução (B, D).....	108
Figura 58 – Interface do <i>software Synchro</i> para a simulação BIM 4D.....	109
Figura 59 – Planilha com lista de atividades e recursos atribuídos .....	109
Figura 60 – Planilha para planejamento das cargas.....	110
Figura 61 – Dados de localização: eixo e pavimento .....	111
Figura 62 – Dados referentes à produção e montagem das peças pré-fabricadas .....	111
Figura 63 – Identificação de carga extensiva .....	112
Figura 64 – Identificação de peça não produzida .....	112
Figura 65 – Dados referentes às cargas planejadas.....	113
Figura 66 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 2.....	114
Figura 67 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 2) .....	115
Figura 68 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 3.....	115
Figura 69 – Tempos de ciclo .....	116
Figura 70 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 3) .....	116
Figura 71 – Síntese referente ao planejamento das cargas por setor de montagem .....	117
Figura 72 – Extrato do plano de longo prazo .....	120

Figura 73 – <i>Layout</i> do canteiro de obras .....	121
Figura 74 – Vista aérea do espaço da fábrica .....	122
Figura 75 – Área de estoque localizada próxima a execução de outros serviços .....	122
Figura 76 – Área de estoque próxima a área de montagem .....	123
Figura 77 – Relação entre peças produzidas, montadas e em estoque.....	123
Figura 78 – Resumo dos dados de montagem dos componentes pré-fabricados .....	124
Figura 79 – Índice de repetitividade das peças E2 .....	124
Figura 80 – Armazenamento de aço .....	125
Figura 81 – Controle de produção e montagem das peças pré-fabricadas .....	125
Figura 82 – Transporte das peças para o local de montagem.....	126
Figura 83 – Modelo proposto para gestão dos processos logísticos .....	130
Figura 84 – Processo de modelagem .....	134

## LISTA DE ABREVIATURAS

ADR – *Action Design Research*

AIA – *American Institute of Architects*

AR – *Action Research*

ATO – *Assemble-to-order*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer Aided Design*

CODP – *Customer Order Decoupling Point*

CPM – *Critical Path Method*

CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals*

DSR – *Design Science Research*

ETO – *Engineer-to-order*

IFC – *Industry Foundation Class*

IGLC – *International Group for Lean Construction*

JIT – *Just-in-time*

LOD – *Level of Development*

MTO – *Make-to-order*

MTS – *Make-to-stock*

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PCP – Planejamento e controle da produção

PPC – Percentagem de pacotes completos

SLP – Sistema *Last Planner*

STP – Sistema Toyota de Produção

TIC – Tecnologia de Informação e Comunicação

WIP – Trabalho em progresso



# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta inicialmente o contexto e justificativa do tema proposto, seguido da motivação para a realização deste trabalho. O problema de pesquisa é discutido, considerando dois tópicos principais: a gestão logística em obras de sistemas pré-fabricados *Engineer-to-order* (ETO) e o uso de *Building Information Modeling* (BIM), em especial as simulações BIM 4D. Em seguida, são apresentadas as questões e os objetivos de pesquisa. Por fim, são descritas as delimitações e a estrutura do trabalho.

## 1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Os empreendimentos de construção têm se tornado gradativamente mais complexos, com a concepção de produtos únicos, que exigem projetos distintos e múltiplas habilidades na produção (EASTMAN *et al.*, 2011). A crescente demanda por obras mais eficientes, rápidas, seguras e de qualidade tem feito com que algumas empresas se voltem ao uso de tecnologias industrializadas. De modo contrário à produção em massa, edificações complexas exigem projetos personalizados e fabricação de componentes ETO (EASTMAN *et al.*, 2011). Nesses sistemas de produção ETO, os pedidos dos clientes são recebidos na fase de concepção do produto (GOSLING; NAIM, 2009).

No setor da construção uma das áreas da industrialização que detém potencial é a pré-fabricação de sistemas e componentes (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Para Lessing (2006), a pré-fabricação deve ser entendida como um dos elementos da industrialização da construção, que deve incluir, além de um sistema de planejamento e controle adequado, um sistema logístico integrado ao processo construtivo.

O contexto da construção civil é caracterizado pela falta de gerenciamento das atividades logísticas, sendo que, normalmente, as atividades de planejamento do *layout* do canteiro e dos processos logísticos são realizadas tardiamente (HAWKINS, 2010). Porém, os profissionais deste setor têm se tornado mais conscientes do papel que a logística, corretamente planejada e executada, desempenha na produção de resultados bem-sucedidos (HAWKINS, 2010).

Skjelbred; Fossheim; Drevland (2015) sugerem que as decisões logísticas, como, por exemplo, o planejamento do *layout* do canteiro e a alocação de recursos adequados, são essenciais para a eficiência de sistemas pré-fabricados. Tais sistemas podem resultar em economia de espaço para armazenamento de materiais, melhorias no controle da qualidade da produção das peças, redução das perdas (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014), assim como aumento da eficiência e rapidez do processo de montagem (PHENG; CHUAN, 2001). No entanto, as economias de tempo decorrentes de uma instalação mais rápida podem ser perdidas se a logística não for devidamente gerenciada (PHENG; CHUAN, 2001).

Com a industrialização, o processo de construção tende a tornar-se mais complexo e vulnerável a partir da necessidade de dois locais de produção: fábrica e canteiro de obras e, com isso, uma maior necessidade de coordenação (KOSKELA, 1992). Matt; Dallasega e Rauch (2014) ressaltam que, tradicionalmente, em empresas ETO, os processos de fabricação e montagem se desconectam, muitas vezes, em função da falta de confiabilidade do planejamento no canteiro de obras e da comunicação insuficiente entre fábrica e montagem.

Nesse caso, a coordenação é especialmente importante, visto que muitas empresas fornecedoras de elementos pré-fabricados operam em um ambiente de múltiplos empreendimentos e atendem distintos canteiros de obra (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014), o que contribui também para o aumento da complexidade desses sistemas de produção. Assim, a industrialização da construção requer um nível mais elevado de integração entre os membros da cadeia de suprimentos de empreendimentos de construção, uma vez que a utilização de mão de obra, materiais e equipamentos devem ser coordenados com o apoio de trocas frequentes de informações (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014).

Eastman *et al.* (2011) salientam que as empresas do tipo ETO, em função da complexidade dos seus processos e da singularidade dos seus produtos, decorrente da especificidade dos seus clientes (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014), são potencialmente um dos maiores beneficiários de BIM, uma vez que seus componentes demandam projetos de engenharia em prazos relativamente curtos e colaboração intensa entre os intervenientes.

O planejamento da construção envolvem atividades de sequenciamento no espaço e no tempo, considerando aquisições, recursos, restrições espaciais e outras preocupações no processo (EASTMAN *et al.*, 2011). Normalmente, são usadas redes baseadas nas técnicas de CPM (*Critical Path Method*) ou gráficos de barras para gerar planos de produção, nos quais as

atividades são associadas a um ou mais componentes que compõem o projeto, sendo cada atividade delineada explicitamente como um par de ação e componente (KOO; FISCHER, 2000). No entanto, uma rede CPM não fornece qualquer informação relativa ao contexto espacial e complexidades dos componentes da construção (KOO; FISCHER, 2000). Além disso, à medida que aumenta a complexidade dos projetos, com o maior número de partes, os desenhos bidimensionais (2D) são, muitas vezes, incapazes de expressar adequadamente as ideias ou resolver os potenciais conflitos que interferem na execução (WANG *et al.*, 2014). Neste contexto, não é utilizada uma representação visual do canteiro de obras, incluindo o avanço físico da obra e o status do uso dos espaços no canteiro no decorrer do tempo. A interpretação de redes CPM em combinação com desenhos 2D limita a possibilidade de identificar oportunidades de melhoria, sequencias problemáticas de atividades, ou erros, de maneira que interpretações inconsistentes tornam a comunicação ineficaz entre os participantes (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

A crescente disseminação de BIM é fortemente baseada na percepção que esta abordagem pode facilitar o compartilhamento e o reuso das informações durante todo o ciclo de vida do empreendimento (LEE; YU; JEONG, 2013). O uso de BIM, em especial as simulações BIM 4D, pode contribuir para a gestão logística por meio da visualização de produtos e processos, podendo apoiar processos colaborativos (AHANKOOB *et al.*, 2012). Além disso, a visualização de modelos 4D permite as equipes a visualizar os atributos espaciais e identificar conflitos que não são compreensíveis ao observar um gráfico de *Gantt* ou a rede CPM (PITAKE; PATIL, 2013).

## 1.2 MOTIVAÇÃO

Este trabalho fez parte de um projeto de pesquisa intitulado “Planejamento e controle integrado de sistemas pré-fabricados em concreto armado utilizando BIM e conceitos *Lean*. Neste projeto, o Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NORIE-UFRGS) e a empresa, denominada neste trabalho como Empresa A, estabeleceram uma parceria institucional, com o objetivo principal de implementar melhorias no sistema de produção e nos processos de montagem das estruturas pré-fabricadas.

A empresa A atua no ramo da pré-fabricação de estruturas de concreto, com o desenvolvimento de soluções completas para a obra, desde projeto, fabricação e montagem no canteiro de obras, sendo o sistema de produção desta empresa caracterizado como ETO.

O principal estudo empírico desta pesquisa foi realizado na construção de um empreendimento de uma instituição de ensino superior, em que a empresa A foi subcontratada para o projeto, fabricação e montagem da estrutura pré-moldada de concreto. Este estudo iniciou em junho de 2015 e teve duração total de 11 meses, sendo finalizado em abril de 2016. Ao longo deste período, foi possível conhecer as principais características de funcionamento e atuação da empresa, com foco nos processos de planejamento e controle, incluindo a interface entre a fábrica e a obra, bem como na relação com os demais intervenientes da obra.

A ineficácia do planejamento e controle da montagem e da gestão logística e as falhas no fluxo de informações entre a fábrica e a obra traziam prejuízos ao processo de montagem. Os problemas apontados dificultavam o fluxo de trabalho das equipes e a ocorrência dos processos logísticos de maneira eficiente. Dessa forma, essas dificuldades apresentadas foram enquadradas como problemas práticos da empresa, contribuindo para a definição do escopo desta pesquisa.

Além disso, este trabalho dá continuidade a outros trabalhos já desenvolvidos pelos pesquisadores do NORIE dentro da mesma linha de pesquisa. Bortolini (2015) propôs um modelo para o planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo ETO utilizando a simulação BIM 4D. Viana (2015) desenvolveu um modelo de planejamento e controle da produção para sistemas ETO, integrando projeto, fabricação e montagem. Trevisan (2016) propôs um conjunto de diretrizes de gestão logística nos níveis tático e operacional, propondo uma série de modificações e ferramentas que poderiam contribuir para a melhoria da coordenação entre as unidades de produção em sistemas ETO pré-fabricados metálicos na construção civil.

O cenário explorado por este trabalho, em sistemas pré-fabricados em concreto, difere do abordado nos trabalhos citados anteriormente, focados em sistemas pré-fabricados metálicos. Os sistemas pré-fabricados em concreto têm algumas características distintas de outros sistemas industrializados, tais como existência de componentes pesados e o número relativamente pequeno de componentes, tomando sistemas de estrutura metálica como referência. Como consequência, geralmente esses componentes pré-fabricados em concreto não devem ser estocados em obra, devendo ser içados diretamente do caminhão que os transporta para o local definitivo de uso.

## 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

### 1.3.1 A Gestão Logística em obras de sistemas pré-fabricados *engineer-to-order*

Hawkins (2010) afirma que a logística tem o papel de apoio às atividades dos canteiros de obras, coordenando e controlando as mudanças constantes das áreas de trabalho, mudanças na força de trabalho, ingresso e movimentação de veículos, instalações e equipamentos, e gestão de uma ampla variedade de materiais. A abordagem logística também requer mudanças no papel dos fornecedores de materiais, incluindo o envolvimento antecipado na fase de projeto e uma troca de informações eficaz relativa ao fluxo de materiais, incluindo operações de transporte, ordem de entrega e tamanho de lotes (AGAPIOU *et al.*, 1998).

Um desafio compartilhado por todos os empreendimentos é a correspondência entre demanda do canteiro e a oferta pelos fornecedores (ARBULU; BALLARD, 2004). Os referidos autores afirmam que qualquer tipo de variabilidade tanto na demanda como na oferta é fundamental para o gerenciamento eficaz do empreendimento e afeta o desempenho do sistema de produção. O equilíbrio entre os estoques de componentes no canteiro de obras e as entregas *just-in-time* deve ser buscado com base em condições como a distância do canteiro ao fornecedor, *lead time* de entrega, nível de detalhe nos planos e quantidade de espaço de armazenamento no canteiro (SKJELBRED; FOSSHEIM; DREVLAND, 2015).

A definição do lote de transporte é uma decisão chave para o controle do fluxo de materiais e sincronização entre a fábrica e a montagem no canteiro de obras. Esses lotes devem ser dimensionados de acordo com o projeto da edificação, sendo difíceis de serem padronizados nos sistemas de produção ETO. O plano de cargas descreve os componentes que devem ser transportados em uma carga de caminhão e quando deve ser realizada a entrega no canteiro, relacionando-se com a sequência previamente estabelecida de montagem e com as informações de produção fornecidas pela fábrica (PEÑALOZA *et al.*, 2016).

Os processos logísticos, por sua vez, desempenham um papel importante durante o planejamento da produção, especialmente em empreendimentos de grande porte ou localizados em áreas com espaço restrito, em que os clientes definem determinadas exigências, seja na entrega de materiais ou logística do canteiro de obras, como, por exemplo, a entrega e tempos de trabalhos limitados, ainda, limitações de chegadas de caminhões por dia (KÖNIG; HABENICHT, 2011). Os mesmos autores afirmam que, especialmente em etapas iniciais de

planejamento, um dos principais desafios é a consideração dos dados de restrições logísticas de maneira adequada.

Várias pesquisas, anteriormente desenvolvidas, foram conduzidas para investigar melhores práticas e desenvolver sistemas de apoio a gestão logística dos canteiros de obras. Silva e Cardoso (1998) propuseram um conjunto de diretrizes para melhorar a eficiência e a eficácia da logística no processo de produção dos empreendimentos, organizadas em três níveis: estratégico, estrutural e operacional. O trabalho investigou como conceitos e ferramentas logísticas estavam sendo aplicadas nas obras, considerando a gestão logística de suprimentos e a gestão logística do canteiro de obras. Serra e Oliveira (2003) também desenvolveram diretrizes para formulação e implementação de planos logísticos com objetivo de auxiliar no planejamento operacional do trabalho, programação de entregas de materiais e melhorias das condições de trabalho. Porém, as diretrizes foram especificadas por ciclo de produção, compreendendo projeto, planejamento, suprimentos e execução.

Cheng e Kumar (2015) apresentaram uma estrutura de sistema para gerenciar a logística dos materiais e o *layout* do canteiro. Já Said e El-rayes (2012) propuseram um sistema para planejamento logístico de canteiro de obras que desafiam a necessidade de espaços. O sistema denominado de C2LP é capaz de modelar e utilizar espaços interiores e exteriores e garantir planos logísticos ótimos para canteiro de obras congestionados. Almohsen e Ruwanpura (2011) desenvolveram uma plataforma a partir da introdução de tecnologias de aplicação baseadas em dispositivos móveis a fim de tornar prática a gestão logística na construção.

No contexto de sistemas construtivos pré-fabricados ETO, a gestão logística é ainda mais importante pela dimensão maior dos componentes e pela necessidade de velocidade da montagem. Além disso, tais sistemas lidam com produtos altamente personalizados, não repetitivos, de forma a atender às necessidades específicas do cliente (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001).

Com frequência, adota-se a produção em grandes lotes para absorver a variabilidade e a busca pela otimização dos custos de transporte, o que afeta a sequência de montagem no canteiro de obras. Neste contexto, o planejamento da produção é feito sem considerar a necessidade montagem imediata (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Dessa forma, os referidos autores salientam que estoques de produtos acabados resultam em problemas, especialmente em obras de áreas urbanas, onde o espaço para o armazenamento de materiais é insuficiente.

Čuš-Babič *et al.* (2014) reiteram que informações provenientes do sistema de gestão da cadeia de suprimentos poderiam melhorar significativamente o planejamento detalhado da pré-fabricação e das atividades no canteiro de obras. Considerando que muitos fabricantes fornecem elementos de construção para vários canteiros, o processo de produção e logística da fábrica deve ser alinhado com as programações e logística de várias obras simultaneamente (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014).

### 1.3.2 Uso de BIM 4D

Diversas pesquisas têm investigado o uso de BIM no processo de planejamento e controle da produção, principalmente com a aplicação das simulações BIM 4D. Chau; Anson e Zhang (2004) desenvolveram e implementaram um protótipo do modelo de visualização 4D com vista a superar problemas em métodos de planejamento de construções convencionais e nas características práticas de gestão dos canteiros de obras. Nesse estudo, o modelo de visualização 4D, que atribui dados de programações ao modelo geométrico 3D, compreende a programação das atividades, associadas a alocação de recursos e *layout* do canteiro.

Ma; Shen e Zhang (2005) introduziram um sistema para planejamento dos canteiros de obras, denominado 4D-ISPS, que integra programações, modelos 3D, recursos e espaços do canteiro com a tecnologia 4D, a fim de fornecer a capacidade de visualização gráfica 4D do canteiro e melhorar o planejamento dos espaços e instalações do canteiro. Pitake e Patil (2013) aplicaram a modelagem 4D para visualização do progresso da obra em empreendimentos residenciais e propuseram um método visual para planejamento com aplicação de modelos 4D para a coordenação e comunicação entre as equipes do projeto.

Fard *et al.* (2009) propuseram a visualização e monitoramento do progresso da construção por meio da superposição do modelo 4D como planejado com fotografias ao longo do tempo. Para os referidos autores, as fotografias fornecem uma plataforma consistente para representar o planejado, o construído e as informações das discrepâncias, facilitando a comunicação e relatos dos processos.

O estudo de Brito e Ferreira (2015) discutiu estratégias para representação e análises da modelagem 4D para a gestão da produção e, ainda, avaliar a importância e a aplicabilidade dessas estratégias, baseados em um estudo de caso em uma edificação residencial horizontal. A partir do uso da simulação 4D, os referidos autores sugerem a realização de diferentes análises, incluindo planos de ataque, sequência de execução das atividades e *layout* do canteiro de obras.

Boton; Kubicki e Halin (2015) utilizaram a simulação 4D em duas fases de empreendimentos de construção. A primeira parte foi conduzida na fase de pré-construção, com o objetivo de estudar a construtibilidade de escolhas técnicas e antecipar questões de sequenciamento a partir de reuniões colaborativas entre as equipes. A segunda parte do estudo foi realizada na fase de construção de um centro de inovação, com objetivo de coordenar o trabalho no canteiro, simular áreas de logística e também analisar precisamente detalhes da construção.

Embora diversos trabalhos relevantes sobre a modelagem BIM 4D na gestão da produção tenham sido desenvolvidos, poucos abordaram a gestão logística dos processos de montagem de sistemas pré-fabricados, incluindo a logística de suprimentos de materiais integrada a logística do canteiro de obras. A maioria dos trabalhos desenvolvidos, conforme descrito acima, tem foco na logística do canteiro de obras, atuando na elaboração de *layout* que atenda às exigências para um fluxo de trabalho sem interrupções, sendo voltados, principalmente, a canteiros de obras com sistemas construtivos convencionais. Em função desta constatação, o presente trabalho tem como foco a gestão dos processos logísticos para sistemas pré-fabricados em concreto ETO, indo além da logística do canteiro de obras, mas influenciando também na logística dos suprimentos de componentes.

A adoção de sistemas pré-fabricados ETO para a construção de um empreendimento implica a necessidade de sincronia entre os distintos ambientes de produção (fábrica e obra) e na necessidade de uma gestão logística eficaz, com trocas de informações confiáveis. Nesse caso, é necessário considerar as operações de carga e descarga, movimentação de grandes equipamentos e controle de estoques, enfatizando as interações entre o planejamento e controle da produção tradicional com a gestão dos processos logísticos no contexto organizacional.

## 1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no contexto, na motivação e no problema de pesquisa, foi definida a seguinte questão principal de pesquisa:

- a) Como utilizar a simulação BIM 4D para a gestão dos processos logísticos no contexto de obras de sistemas pré-fabricados em concreto *engineer-to-order*?

Como desdobramento da questão principal, foi definida a questão secundária:



- b) Quais as informações que necessitam ser inseridas nos modelos BIM na fase de projeto para que estes sejam melhor aproveitados na gestão logística da obra?

## 1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em “*propor um modelo para gestão dos processos logísticos de obras de sistemas pré-fabricados engineer-to-order, com uso de BIM 4D como ferramenta de apoio*”.

Além do objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Propor aplicações para facilitar o planejamento das cargas, utilizando as informações provenientes da modelagem BIM 4D a fim de tornar o processo mais sistemático e integrá-lo ao planejamento e controle da produção.
- b) Definir requisitos de modelagem para que os modelos BIM possam ser utilizados de forma eficaz na gestão dos processos logísticos de obras.

## 1.6 DELIMITAÇÕES

Os processos logísticos abordados durante a pesquisa foram definidos a partir das atividades realizadas desde a fábrica, passando pela expedição até as atividades de montagem dentro do canteiro de obras. Para isso, a principal ferramenta de estudo foi o plano de cargas, que integra esses departamentos. Porém, o escopo definido de pesquisa focou-se no planejamento das cargas, que é necessário para a solicitação das peças. E, dessa forma, as mudanças ocorridas no canteiro de obras resultaram em algumas alterações no departamento de fabricação e expedição. Diante disso, a primeira delimitação refere-se ao fato de que o estudo empírico, realizado em uma obra de sistemas pré-fabricados de concreto, coordenado pela empresa A, não abrangeu as etapas de concepção e detalhamento do projeto. A segunda delimitação, relaciona-se ao fato da Empresa A não adotar a modelagem BIM nos seus projetos. Devido a isso, as modelagens 3D e 4D foram realizadas pela equipe de pesquisadores.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do capítulo de introdução, que são descritos contexto, motivação, problema de pesquisa, as questões e os objetivos da pesquisa, o trabalho dispõe de mais 5 capítulos.

Os capítulos 2 e 3 consistem na revisão da literatura. O capítulo 2 aborda a gestão dos processos logísticos de empreendimentos da construção civil, em que são apresentados conceitos fundamentais da gestão da produção e a contextualização do uso de sistemas construtivos pré-fabricados. Além disso, aborda-se a gestão dos processos logísticos de sistemas pré-fabricados ETO na construção. No capítulo 3, a revisão de literatura foca-se na aplicação de BIM 4D à gestão logística, com uma visão geral sobre BIM, uma análise da sinergia entre a funcionalidade BIM e os princípios da construção *Lean* e finaliza com a descrição de algumas pesquisas existentes sobre o uso de modelos 4D.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, com a descrição da estratégia de pesquisa, o delineamento, a descrição dos estudos empíricos além dos constructos definidos para avaliação do artefato.

No capítulo 5 são apresentados os resultados da pesquisa, com a descrição detalhada das atividades realizadas durante os estudos empíricos, a proposição do modelo bem como a avaliação da solução.

E para finalizar, o capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa, além de sugestão para trabalhos futuros.

## 2 GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS DE EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este capítulo trata de conceitos da gestão dos processos logísticos de empreendimentos da construção civil. Primeiramente são apresentados os conceitos fundamentais da gestão da produção, com destaque para a logística e *layout*. Na última parte do capítulo, discute-se a gestão dos processos logísticos de sistemas pré-fabricados ETO. No primeiro tópico discute-se sobre os sistemas construtivos pré-fabricados e são apresentadas as características dos sistemas de produção ETO, foco deste trabalho. Os últimos três tópicos abordam o planejamento do *layout* do canteiro de obras, o planejamento da logística de suprimentos de materiais e o vínculo do planejamento e controle da produção com a gestão logística.

### 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA GESTÃO DA PRODUÇÃO

Após o Período da Segunda Guerra Mundial, em 1950, o Japão encontrava-se com a economia destruída, com a produtividade do trabalho muito inferior à dos Estados Unidos e a produção automotiva em níveis minúsculos (HOPP; SPEARMAN, 2000). Ohno (1997) relata que Toyoda Kiichiro, presidente da Toyota naquela época, demandou à empresa: “alcançar a América em três anos. Caso contrário, a indústria automobilística japonesa não vai sobreviver”. Entretanto, a Toyota não alcançou os americanos no período de tempo estipulado, porém, todo o esforço para atingir o objetivo provocou mudanças fundamentais na gestão da produção (HOPP; SPEARMAN, 2000), dando origem ao Sistema Toyota de Produção (STP).

O sistema de gestão desenvolvido na Toyota foi o resultado de esforços de tentativa e erro para competir com a produção em massa, já estabelecida nas indústrias automobilísticas americanas e europeias (SHINGO, 1989). Para Liker (2004), o produto mais visível da busca por excelência na Toyota é sua filosofia de produção. O STP é a segunda maior evolução em processos administrativos eficientes depois do sistema de produção em massa inventado por Henry Ford e já foi documentado, analisado e exportado para empresas de diferentes indústrias de todo o mundo. Fora da Toyota, o STP é muito conhecido como Produção Enxuta (*Lean Production*), termos que se popularizaram em duas publicações, *The Machine That Changed the World* (WOMACK; JONES; ROOS, 1990) e *Lean Thinking* (WOMACK; JONES; 1996). Em suma, a produção é enxuta porque fornece uma maneira de fazer mais com menos - menos esforço

humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço – e aproximar-se cada vez mais de fornecer aos clientes exatamente o solicitado (WOMACK; JONES, 2003).

A publicação do trabalho “*Application of the new production philosophy in the construction industry*” por Lauri Koskela (1992), marcou a transferência e adaptação de conceitos e princípios do Sistema Toyota de Produção (STP) para a construção civil. A partir dessa publicação foi criado o Grupo Internacional da Construção *Lean* (IGLC) em 1993, que continua no esforço de desenvolver princípios e métodos para o desenvolvimento de produtos e gestão da produção adaptados a indústria da construção, semelhantes aos que definem a produção enxuta que provou ser bem sucedida na indústria da manufatura (IGLC, 2017).

### 2.1.1 Modelo do processo de produção

A diferença básica entre a filosofia gerencial tradicional e a produção enxuta é essencialmente conceitual. A mudança mais importante para a implantação do novo paradigma é a introdução de uma nova forma de entender os processos (ISATTO *et al.*, 2000).

Na visão tradicional da produção na construção civil, o modelo conceitual dominante é o modelo de conversão (Figura 1). Nesse modelo, o processo de produção é visto como um processo de conversão, em que insumos (matéria-prima, mão de obra, etc.) são transformados em produtos intermediários ou final. Além disso, o processo de conversão pode ser dividido em subprocessos; e o custo do processo total pode ser minimizado por meio da minimização dos custos de cada subprocesso. Dessa forma, o valor do produto do processo é associado somente ao custo (ou valor) dos insumos desse processo (KOSKELA, 1992).

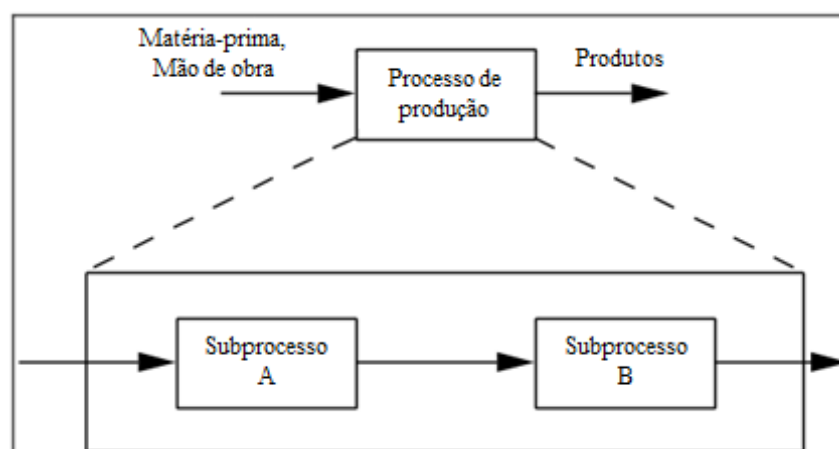


Figura 1 – Visão tradicional do processo de produção (Fonte: adaptado de Koskela, 1992)

Para Koskela (1992) existem evidências de que o modelo do processo de produção como processo de conversão, tal como aplicado para analisar e gerenciar operações produtivas, é enganoso ou mesmo falso. As principais críticas consideradas por Koskela (1992) são:

- Ao se concentrar em conversões, o modelo abstrai os fluxos físicos (movimentação, espera, atividades de inspeção) entre as conversões. E, ao contrário das atividades de conversão, essas atividades não agregam valor.
- Por focar apenas no controle e melhorias dos subprocessos de conversão e não no sistema como um todo, o modelo de conversão não apenas negligência, mas pode deteriorar a eficiência do fluxo global.
- Não considerar os requisitos e expectativas dos clientes, tanto internos como externos, resultam na produção com grande eficiência, mas que geram produtos que podem ser descartados ou retrabalhados, originando perdas e interrupções nos fluxos físicos.

Shingo (1989) define produção como uma rede de processos e operações e argumenta que, para existir reais melhorias no processo de produção é necessário distinguir o fluxo do produto (processo) e o fluxo de trabalho (operação) analisando-os separadamente. O referido autor destaca, que ainda que o processo seja executado por meio de uma série de operações, a falta de entendimento a respeito dessa separação faz com que haja a falsa percepção de que, melhorando cada operação individualmente, o processo de produção será aperfeiçoado.

Com o intuito de considerar as mais importantes características da produção, especialmente as que faltam no modelo de conversão, Koskela (1992) sugere um novo modelo de produção. Nesse modelo, Koskela (1992) define a produção como um fluxo de material e/ou informações a partir da matéria-prima para o produto final, conforme representado na Figura 2. Neste fluxo, o material é processado (convertido), inspecionado, está à espera ou está em movimento e essas atividades são inerentemente diferentes. No modelo, o processamento representa o aspecto de conversão de produção enquanto inspeção, movimentação e esperas representam o aspecto de fluxo da produção.

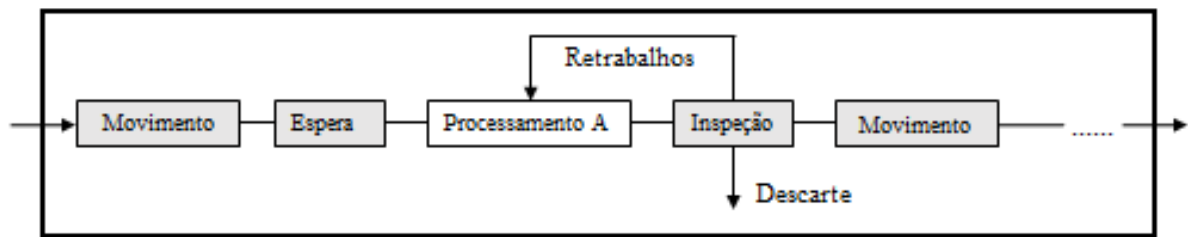


Figura 2 – Produção como um processo de fluxo (Fonte: adaptado de Koskela, 1992)

Do ponto de vista da geração de valor e do atendimento das necessidades dos clientes, Koskela (2000) descreve algumas pesquisas que utilizam o conceito de geração de valor em análises internas da produção, reconhecendo a relação cliente-fornecedor, e gerando uma estrutura com cinco princípios, conforme numerados na Figura 3: (1) Garantir que todos os requisitos do cliente, tanto explícitos quanto ocultos, sejam capturados; (2) Assegurar que os requisitos relevantes do cliente sejam disponíveis em todas as fases da produção, e que não sejam perdidos quando transformados progressivamente em soluções de projetos, planos de produção e produtos; (3) Garantir os requisitos do cliente tenham influência sobre todas as entregas para todos os papéis de cliente; (4) Assegurar a capacidade do sistema de produção para produzir produtos conforme necessário e (5) Garantir por medições que o valor é gerado ao cliente.

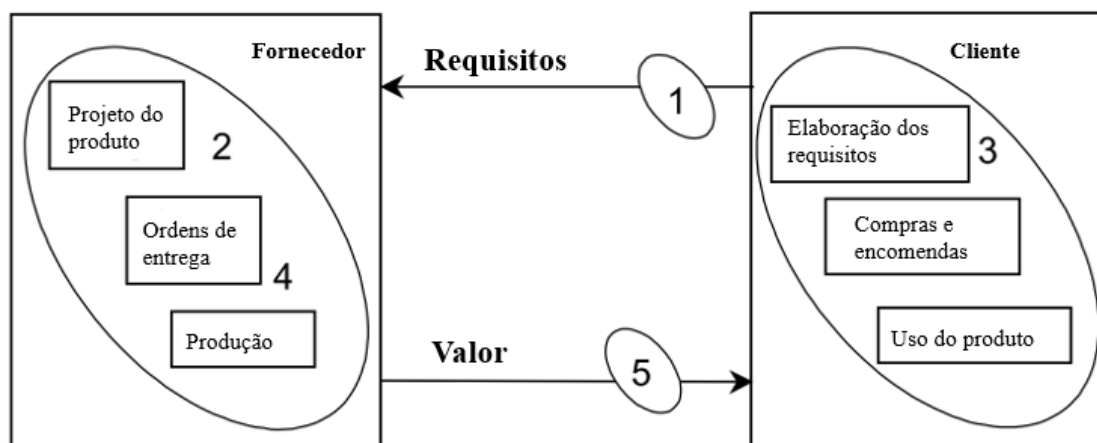


Figura 3 – Princípios relacionados ao conceito de geração de valor

### 2.1.2 *Just-in-time*

Representando um dos pilares da casa do STP, o *Just-in-time* (JIT) é um dos princípios mais conhecidos da produção enxuta e foi concebido por Taiichi Ohno como um método para

facilitar o fluxo suave (WOMACK; JONES, 2003). JIT significa que, em um processo de fluxo, as partes corretas, necessárias à montagem, alcançam a linha de montagem no momento em que são necessários e somente na quantidade necessária (OHNO, 1997).

O fluxo na produção nunca deve parar devido à falta de materiais. No entanto, isso não significa que todos os materiais devem ser solicitados o mais cedo possível e armazenados no canteiro, mas sim que eles devem chegar *just-in-time* (SKJELBRED; FOSSHEIM; DREVLAND, 2015). O sistema JIT geralmente exige entregas mais frequentes em quantidades menores de insumos adquiridos, o que pode resultar em modificações para o recebimento (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006). Além disso, implica ter o menor estoque possível para o processo e criar um fluxo contínuo e um sistema puxado, integrando a logística no processo de produção (LESSING, 2006).

Bowersox; Closs e Cooper (2006) afirmam que as implicações JIT são numerosas. Obviamente, é necessário lidar com fornecedores que tenham níveis de qualidade altos e consistentes, além do desenvolvimentos de relações a longo prazo, com confiança e disciplina, possibilitando a troca de informações entre contratante e fornecedores (AKINTOYE, 1995). Um desempenho logístico confiável é necessário e elimina, ou pelo menos reduz, a necessidade de reservas de estoques de materiais (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

### 2.1.3 Logística

Os conceitos relacionados à logística não são recentes (RUSHTON; CROUCHER; BAKER, 2010). As primeiras referências à logística são encontradas principalmente em aplicações militares, quando as estratégias eram definidas como a arte de lidar com as tropas de guerra e as táticas que os manipulavam no campo de batalha (LUMMUS; KRUMWIEDE; VOKURKA, 2001) e, ao longo dos anos, o conceito foi sendo aprimorado e melhor definido.

Christopher (2011) define a logística como um processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenamento de materiais (e os fluxos de informação relacionados) através da organização e seus canais de marketing de tal forma que os lucros são maximizados sem comprometer a eficácia do sistema (CHRISTOPHER, 2011). Rushton; Croucher e Baker (2010) definem que a logística está relacionada com a transferência eficiente de bens a partir das fontes dos fornecedores, passando pelo local de manufatura, até o ponto de consumo, de forma rentável e que proporcione valor ao cliente com a entrega de um serviço aceitável.

No contexto da construção civil, a logística pode ser entendida como um processo multidisciplinar que visa garantir, em tempo, custo e qualidade, o abastecimento, armazenagem, processamento e manuseio dos recursos necessários para as equipes de trabalho; o dimensionamento dessas equipes e o controle do planos de atividades; além da gestão dos fluxos físicos do canteiro de obras (SILVA; CARDOSO, 1998). Sendo assim, os mesmos autores dividem as funções da logística em uma empresa da construção em: logística de suprimentos e logística do canteiro de obras.

A logística de suprimentos está relacionada às atividades que são cíclicas no processo de produção (SILVA; CARDOSO, 1998) e envolve o fornecimento de materiais, equipamentos e recursos humanos necessários para a produção do empreendimento (SERRA; OLIVEIRA, 2003). As atividades mais importantes dessa função são o planejamento e processamentos das aquisições, a gestão dos fornecedores, o transporte dos recursos até o canteiro de obras e a manutenção dos recursos materiais previstos no planejamento (SERRA; OLIVEIRA, 2003).

A logística do canteiro de obras envolve a gestão dos fluxos físicos e dos fluxos de informações associados a execução das atividades no canteiro de obras (SERRA; OLIVEIRA, 2003). Os mesmos autores afirmam que as atividades mais importantes devem abranger: a gestão dos fluxos físicos envolvidos na execução (planejamento detalhado do fluxo de serviço e os seus mecanismos de controle); a gestão da interface entre os agentes que interagem no processo de construção (informações e interferência entre os serviços) e a gestão física do local de construção (estabelecimento do local, os movimentos internos, áreas de armazenamento e requisitos de gestão de segurança do trabalho).

Dessa forma, a gestão logística na construção civil abrange o planejamento das entregas dos materiais, levando em consideração as atividades planejadas e também o *layout* do canteiro, com a disposição das áreas para armazenamento desses materiais (AGAPIOU *et al.*, 1998). Os principais objetivos dos sistemas logísticos são maximizar o nível de serviço ao cliente e minimizar o custo total das atividades (SILVA; CARDOSO, 1998).

O nível de serviço pode ser mensurado a partir das relações externas entre uma empresa e seus clientes finais, por meio da capacidade da empresa em cumprir os prazos de execução, com qualidade e custos esperados; nas relações externas entre uma empresa e seus fornecedores ou até mesmo nas relações internas entre a empresa e seus clientes internos do canteiro de obras, sendo que o nível de serviço nesses casos pode ser determinado pela capacidade da empresa em



fornecer os recursos aos agentes internos em tempo e lugar certos, de acordo com as especificações corretas (SILVA; CARDOSO, 1998).

Para Hawkins (2010), a logística deve ser conduzida como parte integrante, e não paralela às atividades, estratégicas e operacionais, do canteiro de obras. Os mesmos autores propõem princípios para a integração da logística de um empreendimento:

- Previsão: deve-se ter capacidade de prever as restrições logísticas críticas da construção. Além disso, é necessário analisar a sequência das futuras atividades de montagem e prever os requisitos e exigências de pessoas, materiais, ferramentas e equipamentos, acessos e serviços de apoio.
- Visibilidade: a compreensão da situação da tarefa da construção é um elemento chave da logística porque permite definir a missão logística em tempo real e estabelece prioridades. A equipe do empreendimento necessita clareza, sendo necessário compartilhar informações sobre cada tarefa e também manter uma visão que engloba todas as tarefas que estão sendo realizadas no canteiro de obras.
- Cooperação: a cooperação depende da compreensão compartilhada do que precisa acontecer, como e quando deve ocorrer, a partir da troca precisa de informações relevantes.
- Eficiência: a eficiência logística envolve a obtenção do máximo nível de suporte para os trabalhos de montagem para um menor esforço e um melhor uso dos recursos. Isso requer uma compreensão clara e compartilhada de como a logística apoia os processos de construção e, ainda, uma definição adequada dos papéis e responsabilidades para as atividades de logística da equipe.
- Simplicidade: o plano logístico em um empreendimento da construção deve, sempre que possível, ser simples no conceito e na execução, por meio de procedimentos facilmente entendíveis, processos logísticos comuns entre todas as organizações envolvidas na construção, controle preciso das atividades no canteiro de obras e canais de comunicação claros no empreendimento.
- Agilidade: a agilidade logística fornece à equipe da construção a capacidade de responder ao ambiente de trabalho em constante evolução e a eventos inesperados, de forma a ajustar-se rapidamente. A agilidade implica na

capacidade de mover-se rapidamente e satisfazer a demanda do cliente o mais cedo possível (CHRISTOPHER, 2011).

## 2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS PRÉ-FABRICADOS

Uma variedade de termos intercambiáveis são usados para se referir a industrialização na construção, entre eles pré-fabricação, pré-montagem, modularização e produção *off-site* (MAO *et al.*, 2015). Sendo assim, esse modo de construção caracteriza-se por: (a) produção em um ambiente fabril; (b) componentes pré-fabricados que são produzidos como diferentes tipos: peças, unidades ou módulos; (c) transporte dos componentes ao canteiro de obras; e (d) montagem e instalação dos componentes que dão forma a edificação (MAO *et al.*, 2015). Para o presente trabalho, as terminologias industrialização e pré-fabricação serão alternadas.

A introdução de um processo de construção industrializado, utilizando componentes pré-fabricados, é uma estratégia possível para controlar condições imprevisíveis do canteiro de obras (BJÖRNFOT; STEHN, 2005). A pré-fabricação pode oferecer vantagens significativas quando comparada ao método tradicional de construção, como a redução dos custos totais, a redução do tempo de construção uma vez que os componentes são entregues na obra e diretamente montados, a melhoria da qualidade em função da supervisão na fase de fabricação e a redução de perdas na produção com a redução das parcelas de atividades que não agregam valor (DEFFENSE; CACHADINHA, 2011;ZHAI; ZHONG; HUANG, 2015).

As vantagens dependem da padronização e da adequada organização do trabalho (DEFFENSE; CACHADINHA, 2011). Tam *et al.* (2007) realizaram uma análise de viabilidade ao uso da pré-fabricação na indústria da construção e como resultado obtiveram como principais vantagens a melhor supervisão sobre a qualidade dos produtos pré-fabricados a partir da inspeção antes da instalação no canteiro e a definição da concepção do produto nos estágios iniciais a partir da padronização de alguns componentes.

A industrialização da construção pode ser vista como um meio para a redução de uma parcela das atividades de construção nos canteiros de obras (KOSKELA, 2003), com a transferência dessas atividades para as fábricas, de modo a serem realizadas em um ambiente mais controlado (BALLARD; HOWELL, 1998a). No entanto, essa transferência de atividades resulta em demandas de melhorias na gestão da cadeia de suprimentos e atividades logísticas (LESSING; STEHN; EKHOLM, 2005). A gestão adequada dos fluxos de informações e materiais é

necessária para responder às expectativas dos clientes e manter os custos a um nível adequado. A compreensão das expectativas dos clientes e as incertezas (demanda e oferta) que uma empresa enfrenta é essencial para desenvolver as capacidades ou habilidades adequadas para servir seus mercados. (O'BRIEN *et al.*, 2009).

A cooperação e o compartilhamento de informações entre as fábricas e o canteiro de obras são importantes para a eficiência do planejamento da produção e planejamento logístico (CHAN; ZENG, 2004). As fábricas precisam programar a capacidade de produção e a entrega dos componentes de acordo com o ritmo da produção no canteiro de obras. Atrasos na produção de componentes podem ter repercussões na produção de outros componentes e ainda, comprometer o próprio progresso da construção (CHAN; ZENG, 2004).

Segundo Matt; Dallasega e Rauch (2014), a construção industrializada tende a diminuir e até eliminar as atividades de construção que não agregam valor, como tempo de esperas e transportes. Ballard e Arbulu (2004) afirmam que a aplicação de conceitos e técnicas da produção enxuta nas fábricas prometem benefícios substanciais para a indústria da construção que elas abastecem.

Lessing; Stehn e Ekholm (2005) propõem um modelo de categorização que permite uma avaliação dos níveis de implementação ao longo de oito áreas elencadas pelos autores e que representam o conceito de industrialização. Uma das áreas consideradas essenciais é a integração dos processos da construção com a cadeia de suprimentos, que em um nível de implementação intermediário são aplicados princípios JIT.

Vrijhoef e Koskela (2000) também mencionam o foco na gestão integrada e melhorias na cadeia de suprimentos e na produção do canteiro, de forma que a produção do canteiro é incorporada à gestão da cadeia de suprimentos. Nesse contexto, Pheng e Chuan (2001) reconhecem que a filosofia JIT tem potencial para melhorias na movimentação de componentes da fábrica para o canteiro de obras, de forma que as restrições de espaço para armazenamento e os congestionamentos de tráfego nos locais de trabalho poderiam ser aliviados (PHENG; CHUAN, 2001).

Outra área categorizada por Lessing; Stehn e Ekholm (2005) foi o uso da tecnologia da informação e comunicação (TIC). Para os autores, os processos industrializados requerem informações precisas e confiáveis e as modernas TIC fornecem ferramentas que tratam de forma eficaz as alterações e atualizações de materiais digitais e fornecem soluções para troca e

armazenamento de dados. Além disso, o uso extensivo dessas ferramentas suportam os diferentes processos, permitindo documentos mais precisos e, portanto, excelentes condições para uma produção eficaz em que os erros são descobertos cedo e os problemas nas fases de fabricação e montagem podem ser evitados (LESSING; STEHN; EKHOLM, 2005).

### ***Características dos sistemas de produção engineer-to-order***

O foco desta pesquisa são os sistemas construtivos pré-fabricados ETO, com destaque para estruturas pré-fabricadas em concreto. Esses sistemas ETO têm como característica principal o fato de que a concepção do produto, o projeto detalhado de engenharia e a produção podem ter início somente a partir da confirmação do pedido de clientes (POWELL *et al.*, 2014). Ou seja, os produtos são produzidos especificamente para um cliente, de forma que alguns componentes são altamente customizados e produzidos em baixo volume (muitas vezes, *one-of-a-kind*) e como alguns processos não são repetitivos, podem requerer trabalho especializado (POWELL *et al.*, 2014).

A classificação dos sistemas de produção baseia-se no ponto de desacoplamento do pedido do cliente (*customer order decoupling point* - CODP), que representa o ponto no fluxo do material em que o produto passa a ser vinculado ao pedido de um cliente específico (OLHAGER, 2010). Esse ponto permite a inserção de pontos de estoque que atuam como estoques estratégicos nos períodos de variabilidade da demanda e, de forma eficiente, reagem a pedidos incertos (GOSLING; NAIM, 2009).

Além dos sistemas de produção ETO, Olhager (2003) relaciona outras três diferentes estratégias de entrega do produto: *make-to-stock* (MTS); *assemble-to-order* (ATO) e *make-to-order* (MTO) aos diferentes posicionamentos do CODP. As linhas pontilhadas descrevem as atividades que são executadas com base na previsão de demanda, enquanto as linhas retas descrevem as atividades realizadas a partir do pedido do cliente.

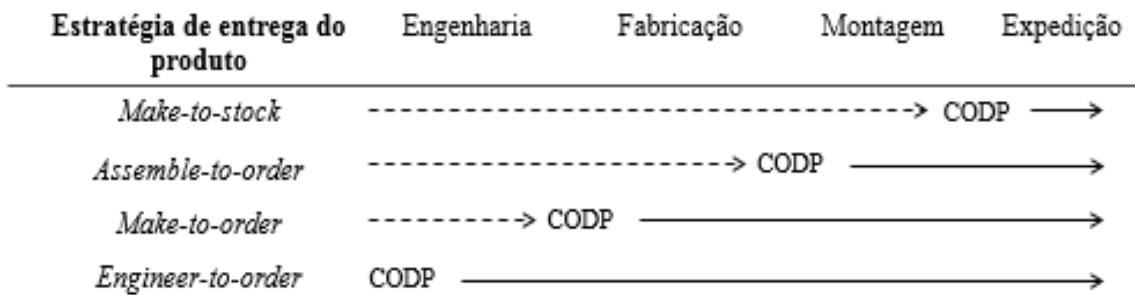


Figura 4 – Esquema de localização do CODP (Fonte: adaptado de Olhager (2003))

Segundo Rudberg e Wikner (2004), quando a abordagem sequencial e linear é adotada, não é possível diferenciação entre as atividades relacionadas a engenharia e as atividades relacionadas a produção. Dessa forma, os mesmos autores propõem o uso de duas dimensões. No eixo vertical, a dimensão da engenharia (ED) e no eixo horizontal a dimensão da produção (PD), como representado na Figura 5. Além disso, os mesmos autores mostram como o conceito de CODP pode ser usado para integrar os recursos da engenharia com o processo operacional. Esta abordagem permite utilizar o CODP não só para analisar as características da produção, mas também para classificar as empresas que realizam adaptações de projeto de engenharia, especialmente aquelas que adotam a estratégia da customização em massa (RUDBERG; WIKNER, 2004).

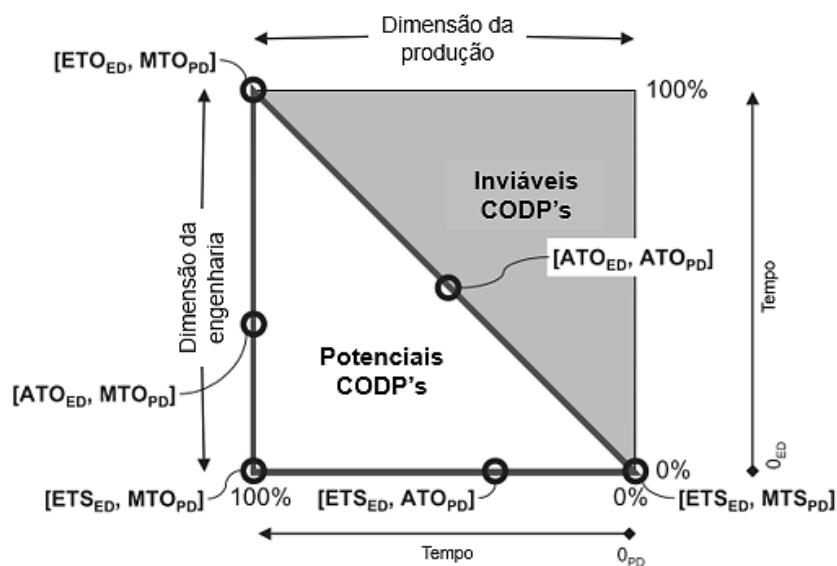


Figura 5 – Duas dimensões do CODP (Fonte: adaptado de Rudberg e Wikner (2004))

Bertrand e Muntslag (1993) definem três aspectos típicos que afetam as características de controle dos sistemas de produção ETO: dinamismo, incerteza e complexidade. Para eles, a situação da produção é considerada dinâmica quando existe a necessidade de antecipar flutuações, como, por exemplo, volumes de vendas. Esta situação dinâmica do mercado exige uma grande flexibilidade externa para fazer face a estas flutuações (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Outro aspecto a ser destacado é a incerteza. De acordo com Galbraith (1973<sup>1</sup> apud BERTRAND; MUNTSLAG, 1993), incerteza é a diferença entre a quantidade de informações requeridas para desempenhar uma atividade e a quantidade de informações disponíveis na organização, e distingue três fatores que contribuem para incertezas em situações ETO: especificação do produto, demandas futuras e incertezas nos processos.

O primeiro fator é a incerteza na especificação do produto, especialmente nas fases iniciais de um empreendimento que não estão definidas todas as partes do produto. Assim, trabalha-se com um alto grau de incerteza, para a tomada de decisão com relação à capacidade, *lead time* e preço (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). O segundo fator refere-se às incertezas na variedade e volume de demandas futuras, que acontecem devido à dificuldade de realizar uma previsão de demanda detalhada em função do caráter específico do pedido do cliente e a existência de muitas linhas de produtos diferentes. Ballard e Arbulu (2004) reiteram que variabilidade da demanda é, sem dúvida, um ponto vulnerável para os fabricantes. O recebimento tardio de informações de projetos, mudanças de projeto frequentes e mudanças no cronograma e sequência da instalação interrompem as programações da produção e fazem com que os fabricantes arrisquem a perda de capacidade (BALLARD; ARBULU, 2004). O terceiro e último fator refere-se a incertezas dos processos, que ocorre principalmente no início do empreendimento quando há pouco conhecimento dos processos de fabricação e recursos necessários (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

Além do dinamismo e da incerteza, Bertrand e Muntslag (1993) destacam a complexidade do sistema de produção ETO, que ocorre principalmente devido a três fatores: a estrutura do fluxo dos produtos, caráter de múltiplos empreendimentos e a estrutura do produto.

---

<sup>1</sup> Galbraith, J.R . 1973. Designing Complex Organizations. Addison-Wesley. Reading

A estrutura do fluxo dos produtos é formada por estágios não-físicos que compreendem processos de projeto e engenharia, e físicos, que compreendem fabricação, transporte e montagem (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Em decorrência do aspecto criativo do processo de projeto no estágio não-físico, torna-se difícil formalizar o trabalho e distinguir entre as fases de produção e operações, em analogia com a produção física (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). O estágio físico relaciona-se com a complexidade de coordenação de diferentes linhas de produção com tempos de operações variados além da coordenação do fluxo de materiais (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). Pela natureza complexa do produto final e, de forma a garantir que as especificações do cliente sejam atendidas, as empresas ETO precisam se envolver com esses clientes em todo os processos de projeto, engenharia e produção (POWELL *et al.*, 2014)

O segundo fator é o caráter de múltiplos empreendimentos do sistema de produção. Cada pedido do cliente pode requerer um conjunto diferente de componentes, que podem ser desconhecidas nas fases iniciais do projeto. Para Wortmann (1995), a produção ETO constitui-se normalmente em um ambiente múltiplos empreendimentos, no qual a configuração exata dos produtos torna-se evidentes apenas durante o projeto em si. Em um mesmo departamento, podem existir vários empreendimentos para serem controlados ao mesmo tempo e que estão em diferentes estágios de conclusão. Os gargalos que ocorrem como resultado das incertezas existentes dentro de um empreendimento específico pode ter sérios efeitos nos demais empreendimentos (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993).

O último fator refere-se a estrutura do produto, a qual pode consistir em grande quantidade de peças, que são, em parte, específicas do cliente e, basicamente, *one-of-a-kind*. Isto significa que alguns materiais específicos podem ter que ser comprados para um projeto único (BERTRAND; MUNTSLAG, 1993). De fato, Tommelein (1998) aponta que as equipes de montagem com frequência enfrentam o chamado “problema de correspondência”, ou seja, as mesmas dispendem tempo para encontrar os recursos disponíveis e garantir que o elemento correto seja instalado no lugar previsto.

## 2.3 GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS ETO NA CONSTRUÇÃO

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (2016) define a gestão logística como a parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla a eficiência e eficácia dos fluxos e estoques de bens e serviços, em ambos os sentidos, e as suas informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requerimentos do cliente. Com essa definição, pressupõe-se que a logística exerça a função de integradora, que coordena e otimiza todas as atividades logísticas, além de integrar essas atividades com outros setores, por exemplo marketing, vendas, finanças e tecnologia da informação (CSCMP, 2016).

Para a indústria da construção, a gestão logística compreende planejamento, organização, coordenação e controle do fluxo de materiais a partir da extração de matéria prima até a incorporação dos mesmos no produto final (CLAUSEN, 1995<sup>2</sup> *apud* AGAPIOU *et al.*, 1998). O planejamento logístico da construção compreende a coordenação entre o fornecimento de materiais e as decisões de armazenamento, a fim de considerar seus impactos e interdependências mútuas (SAID; EL-RAYES, 2010).

Almohsen e Ruwanpura (2011) afirmam que uma das causas mais evidentes da baixa produtividade na construção é a má gestão de materiais, equipamentos e ferramentas, salientando a necessidade da gestão logística. A partir de estudos que indicaram que os baixos níveis de produtividade no canteiro de obras foram resultados da falta de planejamento das atividades logísticas, Agapiou *et al.* (1998) desenvolveram um modelo logístico.

O modelo foi desenvolvido visando melhorar o desempenho dos processos de projeto e construção, incluindo planejamento das atividades do canteiro de obras, entregas de materiais no canteiro, alterações no detalhamento dos projetos, retrabalhos durante as fases da construção e condições de trabalho no canteiro. Um dos principais componentes desse modelo é o plano de suprimentos, que indica as datas de entrega de materiais previstas para toda a obra. Além

---

<sup>2</sup> Clausen, L.E. (1995) Building logistics, Report No. 256 Danish Building Research Institute, Copenhagen.



desse plano, também deve ser realizado o plano de descarregamentos, que indicam onde os suprimentos diários devem ser descarregados no canteiro (AGAPIOU *et al.*, 1998).

### 2.3.1 Planejamento do *layout* de canteiro de obras

Um dos principais pontos que abrange os processos logísticos do canteiro de obras é o planejamento do *layout* do canteiro de obras. Este tipo de planejamento visa a garantir o fornecimento de todas as condições de infraestrutura necessárias para o funcionamento adequado dos processos relacionados às instalações de canteiro (SAURIN, 1997).

O arranjo físico ou *layout* de uma operação ou processo define como os seus recursos transformadores são posicionados uns em relação aos outros e como as tarefas são alocadas a esses recursos transformadores, decidindo onde colocar as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da operação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Na construção civil, o *layout* do canteiro de obras também é planejado, de maneira que, os diversos objetos necessários para a realização das atividades da construção, tais como como equipamentos, materiais, espaços de trabalhos e instalações temporárias, são posicionados (EL-RAYES; SAID, 2009).

Os espaços disponíveis no canteiro de obras são suscetíveis a alterações a partir das demandas das atividades realizadas ao longo do processo de construção e, portanto, o *layout* do canteiro de obras precisa ser reorganizado, em intervalos definidos, a fim de satisfazer os requisitos das atividades planejadas, mantendo a segurança e produtividade do canteiro (ELBELTAGI *et al.*, 2001). Assim, de acordo com os autores, um planejamento eficiente torna-se necessário para facilitar a reorganização do canteiro à medida que o cronograma de atividades de construção avança. Além disso, a ótima gestão do canteiro de obras requer a identificação de todos os agentes presentes no canteiro. Cada fase da construção envolve uma variedade de fornecedores e subcontratados que contribuem para a produção com materiais e serviços (SERRA; OLIVEIRA, 2003).

Então, a partir do desafio de refletir a dinâmica do canteiro ao longo das atividades de construção (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2014) é que os modelos dinâmicos para o planejamento do *layout* são utilizados. Esses modelos consideram as mudanças na necessidade de espaços, o que resulta na reutilização dos espaços e na mudança de posição das instalações provisórias (EL-RAYES; SAID, 2009), sendo que a necessidade de aplicação desses modelos torna-se ainda mais crítica em canteiro de obras com restrições de espaço físico e congestionados (SAID; EL-RAYES, 2013). Os modelos de planejamento dinâmicos existentes

subdividem a duração do empreendimento em sucessivos estágios e definem a localização das instalações provisórias em cada um desses estágios (EL-RAYES; SAID, 2009).

Tommelein (1994) afirma que os desvios do plano de *layout* do canteiro de obra surgem por vários motivos, incluindo: a incerteza sobre a programação de entregas de materiais; a falta de comunicação dos dados do *layout* pela construção; as discrepâncias entre as quantidades estimadas, entregues e necessárias; a disponibilidade de material; as características do material e a imposição de requisitos de gestão; os danos e perdas de material e a insuficiência do espaço disponível.

À medida que a construção do empreendimento avança, as atividades mudam e, conseqüentemente, os objetos de apoio associados a essas atividades também estão sujeitos a mudanças. Diante disso, o planejamento do *layout* do canteiro de obras não é apenas um problema de otimização de espaço, mas sim uma otimização do espaço ao longo do tempo (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2014). Um *layout* ideal do canteiro de obras é crucial para a gestão do empreendimento, pois reduz o tempo de transportes, resultando em melhorias da produtividade e na segurança das condições de trabalho (PAPADAKI; CHASSIAKOS, 2016)

O planejamento do *layout* do canteiro de obras é um processo de tomada de decisão que envolve a identificação de problemas e oportunidades a partir da definição dos objetivos, com a identificação das restrições do canteiro, instalações e espaços disponíveis; o desenvolvimento de soluções com a geração das alternativas de *layout* para o canteiro que cumpram os objetivos e restrições impostas; e finalmente, a avaliação e escolha da melhor alternativa para implementação (NING; LAM; LAM, 2011).

### 2.3.2 Planejamento da logística de suprimentos

Existe muita competição na indústria da construção (AKINTOYE, 1995) e um importante fator de vantagem competitiva em empresas ETO é a capacidade de rápida respostas aos clientes (MCGOVERN; HICKS; EARL, 1999). Se por um lado, os atrasos na entrega dos componentes podem gerar custos onerosos ao canteiro de obras, relacionados a mão de obra e equipamentos parados, por outro, a produção e entrega antecipadas tendem a aumentar os custos de estoque, tornam mais complexa a manipulação de peças em obra e afetam seriamente outros empreendimentos abastecidos pela mesma fábrica (ČUŠ-BABIČ *et al.*, 2014).

Os *lead times* são relativos à capacidade do cliente (canteiro de obras) em prever as demandas para o processo da construção e assim, determinar quando e quais componentes serão necessários para a instalação (BALLARD; ARBULU, 2004). Para os autores, *lead times* que excedem a janela de confiabilidade do canteiro de obras aumentam a probabilidade de entregas fora do prazo. Sendo assim, as melhorias nas entregas acontecem com a redução dos *lead times* e o aumento na confiabilidade das estimativas (HICKS; MCGOVERN; EARL, 2001).

Para a maioria dos materiais adquiridos no canteiro de obras, alguns problemas podem surgir devido ao planejamento de entregas não realizado de maneira correta, ou seja, alguns materiais podem ser comprados exatamente na data que seriam utilizados, resultando em atrasos e interrupções no cronograma de trabalho, e outros materiais são adquiridos em grandes quantidades sem atender às necessidades de produção no local, resultando em desperdícios de recursos durante a estocagem, manuseio e transporte (AGAPIOU *et al.*, 1998). Além disso, problemas com a qualidade dos materiais e entregas fora da sequência requerida também resultam em perdas de produtividade (THOMAS; SANVIDO, 2000).

De certa forma, a implementação do JIT para a gestão de materiais de construção, como um complemento para boas práticas de gestão, tem o potencial para manter a competitividade no mercado da construção, de forma que as empresas precisam determinar estratégias que possibilitem uma redução do estoque excessivo em canteiros de obras (AKINTOYE, 1995). O alinhamento do tamanho do lote da produção com a frequência e quantidade de lotes de transporte e com o progresso da instalação no canteiro de obras é uma questão crítica para uma abordagem holística de otimização em empresas ETO (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2015).

### 2.3.3 Vínculo do Planejamento e Controle da Produção (PCP) com a Gestão logística

Na construção, o planejamento é a produção de metas, programações e outras especificações detalhadas das etapas para serem seguidas e as restrições a serem cumpridas na execução do empreendimento (BALLARD; HOWELL, 1998b). Uma vez que a produção começa, a gestão devota seus efeitos para o controle, ou seja, monitoramento do desempenho em relação às especificações, com ações corretivas quando necessárias (BALLARD; HOWELL, 1998b). A eficiência do processo de planejamento e controle da produção na construção depende

significativamente da confiabilidade e disponibilidade das informações sobre os recursos (DAVE; BODDY; KOSKELA, 2011).

Para os autores Laufer e Tucker (1987), o planejamento deve sempre responder as seguintes questões:

- O que deve ser feito? (Atividades)
- Como as atividades devem ser executadas? (Métodos)
- Quem deve executar cada atividade e com quais meios? (Recursos)
- Quando as atividades deveriam ser executadas? (Sequência e tempo)

Laufer e Tucker (1987) propõem um modelo para o processo de planejamento que compreendem as etapas de preparação do processo de planejamento, coleta de informações, preparação dos planos, difusão das informações, ação e avaliação do processo de planejamento, conforme a Figura 6.

O propósito do planejamento é dar suporte ao gerente para cumprir as suas funções primárias de direção e controle. A direção pode ser subdividida em execução (ou planejamento da ação), entendida como as decisões iniciais dos planos, onde os elementos essenciais “como”, “quando” e “quem” são preparados para a execução do projeto da construção, e coordenação, que abrange coordenar e comunicar todas as partes envolvidas na realização da construção. A função de controle envolve medições e avaliações de desempenho, e a tomada de ações corretivas quando o desempenho diverge do plano (LAUFER; TUCKER, 1987).

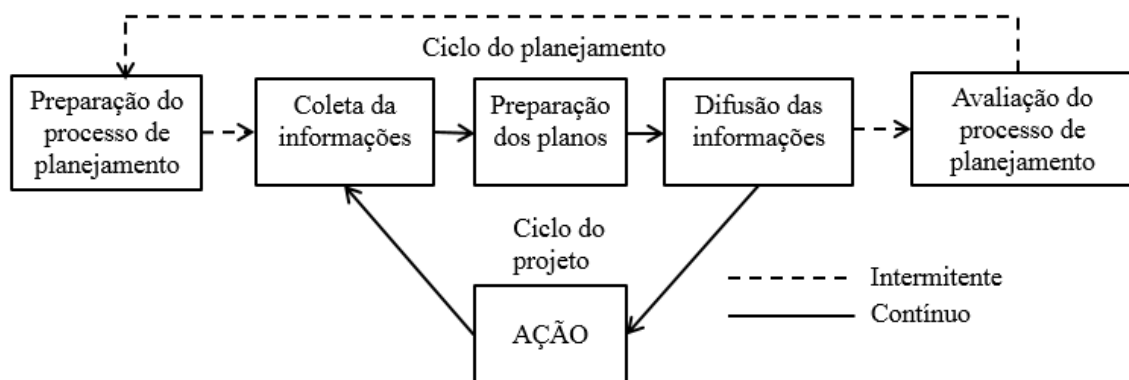


Figura 6 – Processo de planejamento da produção (Fonte: adaptado de Laufer; Tucker, 1987)

Hopp e Spearman (2000) afirmam que o primeiro passo no desenvolvimento de uma estrutura de planejamento é dividir os vários problemas de decisão em subproblemas gerenciáveis, por

---

Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados engineer-to-order

meio de uma hierarquia de planejamento. A divisão dos horizontes de planejamento é realizada em três níveis: longo prazo (estratégico), intermediário (tático) e curto prazo (controle).

As decisões de longo prazo abordam as decisões financeiras, as estratégias de marketing, concepção e projeto do produto, decisões sobre tecnologias dos processos, contrato com fornecedores, ou seja, decisões de estratégias para operar o sistema (HOPP; SPEARMAN, 2000). As decisões de alcance intermediário abordam as táticas, determinando as programações de trabalho, decisões de compras e manutenção preventiva. Essas decisões táticas devem ser feitas dentro das restrições físicas e lógicas estabelecidas pelas decisões estratégicas de longo prazo (HOPP; SPEARMAN, 2000). Finalmente, as decisões de curto prazo abordam o controle do fluxo de materiais, decisões de ajustes dos equipamentos, controle dos processos e todas as ações necessárias para que o sistema funcione em direção ao seu objetivo. Ambas as decisões estratégicas e táticas estabelecem as restrições nas quais as decisões do curto prazo devem ser tomadas (HOPP; SPEARMAN, 2000).

A hierarquia do planejamento logístico também adota a divisão em três horizontes de tempo: estratégico, tático e operacional (RUSHTON; CROUCHER; BAKER, 2010), com forte relação com o planejamento e controle da produção. O plano estratégico considera os objetivos de uma organização, os requisitos gerais de serviços e como a administração pretende atingir a visão corporativa (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). O plano tático geralmente incluem a definição de equipamentos para transporte e manuseio dos materiais e outras questões importantes para apoiar a infraestrutura da logística (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). O plano operacional compreende o planejamento detalhado das atividades e a partir do monitoramento e comparação do desempenho com o planejado é possível antecipar problemas e comunicar resultados (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998).

### ***Sistema Last Planner (LPS)***

O *Last Planner System* (LPS), desenvolvido por Glenn Ballard e Greg Howell, é um sistema de planejamento e controle da produção usado para auxiliar na suavização das variações dos fluxos de trabalho na construção, no desenvolvimento de planejamento prospectivo e na redução das incertezas nas operações da construção (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). O LPS consiste em uma filosofia, regras, procedimentos e conjunto de ferramentas que facilitam a implementação de controles proativos no canteiro (BALLARD, 2000).

Quanto aos procedimentos, o sistema tem dois componentes: controle da unidade de produção e controle do fluxo de trabalho. A função do primeiro componente é fazer atribuições progressivamente melhores aos trabalhadores diretos através da aprendizagem contínua e ações corretivas. A função do segundo componente é fazer com que o trabalho flua através das unidades de produção, na melhor sequência e taxa possível (BALLARD, 2000).

Na prática, o LPS e suas adaptações buscam reduzir variações, melhorar a coordenação e os fluxos de trabalho e, assim, reduzir várias formas de perdas nos empreendimentos de construção (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). A estrutura hierárquica do LPS é segmentada em quatro níveis, com diferentes intervalos cronológicos: (a) Planejamento de Longo Prazo; (b) Planejamento de Fases; (c) Planejamento de Médio Prazo; e (d) Planejamento de Curto Prazo.

O LPS pode ser entendido como um mecanismo para transformar o que deveria ser feito (*should*) em o que poderia ser feito (*can*), formando assim um estoque de pacotes de trabalhos prontos, a partir dos quais os planos de trabalho semanais podem ser formados (BALLARD, 2000) e dessa forma, difere do sistema de planejamento tradicional, que direciona o que deveria ser feito diretamente para o processo de execução do plano. A Figura 7 esquematiza os dois processos de planejamento.

A métrica chave do LPS é a percentagem de pacotes completos (PPC), que representa a divisão entre o número de atividades planejadas que foram executadas pelo número total de atividades planejadas. O resultado é expresso em porcentagem. A análise dessa métrica pode se tornar um ponto de foco poderoso para iniciativas inovadoras (BALLARD, 2000). O PPC é usado para ajudar as organizações do empreendimento a aprenderem sobre a confiabilidade de seus planos e assim melhorar a estabilidade desses planos (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). No que diz respeito aos produtos ETO, tais como pré-fabricados em concreto, é importante que os prazos de entrega, a partir da notificação prévia da necessidade de entrega pelo canteiro de obras, permaneça dentro da janela de confiabilidade do fornecedor (BALLARD; HARPER; ZABELLE, 2003).

O LPS fornece uma importante contribuição sobre o incentivo ao envolvimento do nível operacional no desenvolvimento dos planos. Mais do que ser capaz de se comprometer a fazer o trabalho, os membros da equipe participam do planejamento de alto nível, o que ajuda todas as partes interessadas a estar cientes das interdependências entre as atividades (VIANA, 2015).

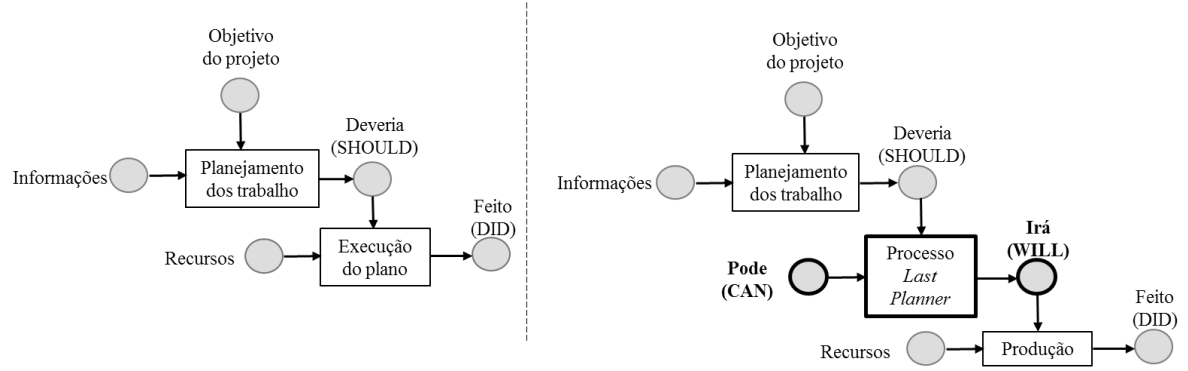


Figura 7 – Sistema de planejamento tradicional e Sistema *Last Planner* (Fonte: adaptado de Ballard, 2000)

### 3 APLICAÇÃO DE BIM 4D À GESTÃO LOGÍSTICA

O presente capítulo aborda a definição do conceito de *Building Information Modeling* (BIM). Nessa seção é apresentado o conceito de nível de desenvolvimento (LOD), relevante para o desenvolvimento do trabalho, e também a modelagem 4D. Posteriormente, são identificadas as interações entre *Lean* e BIM que garantem a sinergia entre ambos. Para finalizar, são destacados alguns trabalhos que demonstraram a aplicação de modelos 4D em empreendimentos da construção civil.

#### 3.1 BUILDING INFORMATION MODELING

*Building Information Modeling* (BIM) é uma mudança tecnológica e processual emergente dentro da indústria da construção (SUCCAR, 2009). É definido por Eastman *et al.* (2011) como sendo uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construções.

BIM refere-se a um conjunto de tecnologias, processos e políticas que interagem (SUCCAR, 2009), utilizando um método para gerenciar os dados essenciais do projeto e construção em formato digital, durante todo o ciclo de vida da edificação (PENTTILÄ, 2006). Com o BIM, um modelo virtual preciso da obra pode ser construído digitalmente (AZHAR, 2011) com o objetivo de promover melhorias na colaboração entre as equipes do empreendimento, durante as fases de projeto e construção (BHATLA; LEITE, 2012).

Schlueter e Thesseling (2009) afirmam que os modelos BIM são mais do que um simples conjunto de desenhos, mas podem ser considerados como um repositório capaz de armazenar diferentes tipos de informações, incluindo informações geométricas, relacionadas diretamente com a forma da construção em três dimensões, e informações semânticas, que descrevem as propriedades dos componentes e informações topológicas que captam as dependências dos componentes.

Para Crotty (2012), o BIM surge como tentativa de melhorar drasticamente a qualidade inerente da informação do projeto de construção e melhorar dramaticamente os mecanismos e procedimentos pelos quais a informação é comunicada e compartilhada entre os membros de uma equipe de projeto. Em um projeto paramétrico, ao invés de projetar uma instância de um elemento de construção como uma parede ou porta, um projetista define uma classe ou família



de elemento, que define como um conjunto de relações e regras para controlar os parâmetros pelos quais as instâncias dos elementos podem ser geradas (CROTTY, 2012).

Segundo Eastman *et al.* (2011), ao habilitar que uma construção seja representada por objetos inteligentes que carregam informações detalhadas sobre si mesmos e também entendem seu relacionamento com outros objetos no modelo de construção, o BIM não só altera a forma como os desenhos de construção e visualizações são criados, mas também altera dramaticamente todos os processos-chave envolvidos na construção. É importante ter em mente que o BIM não é apenas uma mudança de tecnologia, mas também uma mudança de processo (EASTMAN *et al.*, 2011).

A modelagem paramétrica permite a representação das relações funcionais entre as partes, bem como as relações geométricas. As propriedades funcionais das peças de construção incluem critérios estruturais, térmicos, acústicos, de segurança e outros que sejam bem definidos (potencialmente incluindo critérios estéticos). O comportamento paramétrico, implementado com atributos e relações topológicas, define a forma como as partes interagem uns com os outros em apoio à sua função (SACKS; EASTMAN; LEE, 2004). O adjetivo paramétrico implica a possibilidade de reutilizar definições de classe de objeto para representar múltiplas ocorrências de coisas semelhantes. Estes são denominados instâncias de uma classe, e têm diferentes valores de atributos, mas a mesma estrutura básica (SACKS *et al.*, 2009).

A interoperabilidade é a capacidade de troca de dados entre aplicativos de maneira que facilita o fluxo de trabalho e muitas vezes facilita sua automação, eliminando a necessidade de cópia de dados que já foram gerados em outro aplicativo manualmente (EASTMAN *et al.*, 2011). O *Industry Foundation Class* (IFC) é um dos padrões de interoperabilidade comumente utilizado pela indústria da construção.

### 3.1.1 Nível de desenvolvimento (LOD)

O nível de desenvolvimento (*Level of development* - LOD) de um modelo BIM 3D refere-se ao grau de detalhamento com que a geometria e as demais informações dos objetos foram produzidas (BIM FORUM, 2015), podendo variar em função do uso nas diferentes fases do ciclo de vida da edificação (BOTON; KUBICKI; HALIN, 2015a). O LOD descreve o mínimo dimensional, espacial de dados quantitativos, qualitativos, e de outros dados incluídos em um elemento do modelo (AIA, 2013).

De acordo com a AIA (2013), o LOD pode ser dividido em cinco níveis, conforme representados na Figura 8 e descritos a seguir.

- c) LOD 100: cada elemento é representado graficamente no modelo com um símbolo ou outra representação genérica.
- d) LOD 200: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto genérico com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação.
- e) LOD 300: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico, preciso em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação.
- f) LOD 400: cada elemento é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico, preciso em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informação de instalações.
- g) LOD 500: cada elemento é uma representação verificada em campo, preciso em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação.



Figura 8 – Representação esquemática do LOD (Fonte: adaptado de BIMFORUM (2015))

### 3.1.2 Modelagem 4D

A modelagem 4D consiste em vincular as atividades de construção aos objetos do modelo 3D, a fim de simular o processo de construção ao longo do tempo (BOTON; KUBICKI; HALIN, 2015b). A partir da visualização dos planos gerados, pode-se avaliá-los e revisá-los com mais facilidade, podendo resultar na elaboração de planos mais confiáveis (EASTMAN *et al.*, 2011) e na previsão de possíveis problemas na fase de construção, evitando implicações, principalmente nos custos e no tempo de construção (HEESOM; MAHDJOURI, 2004).

A Figura 9 representa dois diferentes processos da modelagem 4D apresentados por Eastman *et al.* (2011). O primeiro diagrama identifica o processo realizado manualmente e baseado em projetos CAD 2D, no qual são realizadas animações com as fotos criadas a partir da habilitação manual dos *layers* dos componentes, para representar um período de tempo da programação. O segundo diagrama mostra o processo baseado na utilização de softwares específicos para elaboração dos modelos 4D, em que, o modelo 4D é criado a partir do vínculo direto do plano da construção com o modelo 3D. Nesse caso, ao contrário ao primeiro diagrama em que todas as alterações necessárias são realizadas manualmente, as alterações podem ser automaticamente atualizadas.

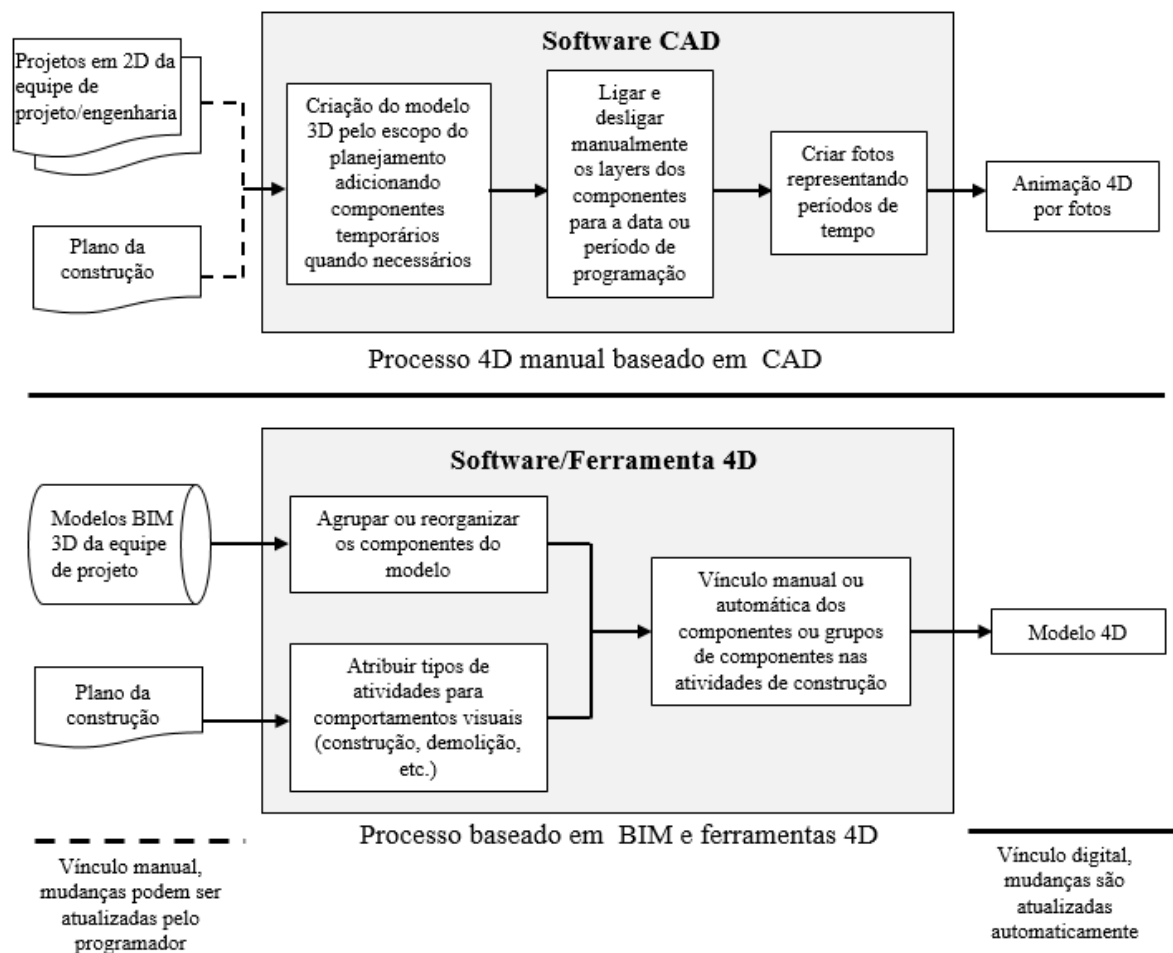


Figura 9 – Processos de modelagem 4D (Fonte: adaptado de Eastman *et al.*, 2011).

Os modelos 4D podem melhorar a comunicação entre os *stakeholders* no processo de planejamento e controle da produção (HARRIS; ALVES, 2013), pois os modelos 4D capturam os aspectos temporais e espaciais da programação, e a comunicação dessa programação torna-

se mais eficaz, comparado ao uso do tradicional gráfico de *Gantt* (EASTMAN *et al.*, 2011). Um estudo realizado por Gledson e Greenwood (2014) apontou como benefícios essenciais à adoção do BIM 4D, a visualização e o entendimento dos processos da construção. Dessa forma, os modelos 4D servem como uma plataforma para a integração de diferentes aspectos da informação da construção e torna-se um denominador comum que faz o processo de construção mais transparente (HARRIS; ALVES, 2013).

### 3.2 SINERGIA *LEAN* E BIM

Existe um grande número de estudos sobre BIM nos últimos anos, assim como sobre a aplicação da filosofia *Lean* em empreendimentos de construção. Embora estes dois tipos de estudos sejam conceitualmente separados e independentes, parece haver sinergias entre ambos (SACKS *et al.*, 2009).

Segundo Eastman *et al.* (2011), a aplicação do BIM contribui para a aplicação de alguns princípios da filosofia *Lean*, enquanto a implementação desta filosofia facilita a utilização de BIM. De fato, a filosofia *Lean* tem contribuído para melhorar a gestão dos processos e da produção de empreendimentos da construção, enquanto o BIM contribui para resolver problemas centrais relacionados à modelagem de produtos e de processos (DAVE, 2013).

Para Dave (2013), a filosofia *Lean* tem dois objetivos principais: minimizar a perda física do processo e melhorar a geração de valor para o cliente, e o BIM contribui diretamente a esses objetivos por permitir melhorias nos processos por meio da detecção e análise de conflitos antecipadamente, reduzindo retrabalhos, prazos e custos. Para Fosse *et al.* (2017), BIM aborda a confiabilidade da informação e a filosofia *Lean* aborda a confiabilidade dos processos.

Sacks *et al.* (2010) desenvolveram uma matriz com funcionalidades BIM e princípios da filosofia *Lean*, na qual foram identificadas 56 interações, que foram apresentadas como hipóteses para orientar e estimular pesquisas futuras. Dentre as interações, cinco foram consideradas relevantes para o desenvolvimento da presente pesquisa e são resumidas na Figura 10.

INTERAÇÃO	FUNCIONALIDADE BIM	PRINCÍPIO <i>LEAN</i>
<b>11</b>	6. Fonte única de informação	A. Reduzir a variabilidade do produto
	11. Geração automática das tarefas da construção	
<b>25</b>	12. Simulação dos processos de construção	C. Reduzir a duração dos ciclos de produção
	13. Visualização 4D do planejamento da construção	
<b>40</b>	13. Visualização 4D do planejamento da construção	L. Visualizar os métodos de produção por meio da gestão visual
	13. Visualização 4D do planejamento da construção	M. Visualizar os processos de produção por meio da gestão visual
<b>49</b>	13. Visualização 4D do planejamento da construção	W. Resolução de problemas - Decisões por consenso, considerando todas as opções

Figura 10 – Interações entre as funcionalidades BIM e os princípios *Lean* relevantes para o presente trabalho

Com relação a interação 11, Sacks *et al.* (2010) refere-se ao uso de desenhos 2D em comparação ao uso de BIM para elaboração dos projetos. Para Sacks *et al.* (2010), em desenhos 2D os mesmos objetos são representados em múltiplos locais e, à medida que o projeto progride e as alterações são feitas, torna-se necessário manter a consistência entre as múltiplas representações e informações. Dessa forma, o uso do BIM auxilia na resolução deste problema por utilizar uma representação única da informação pela qual todos os relatórios e informações necessárias são derivadas automaticamente (EASTMAN *et al.*, 2011).

Com o uso de BIM, é possível reduzir a variabilidade do produto, pois, a partir de melhorias na concepção do produto, podem ser reduzidas as necessidades de modificações durante as fases posteriores ao projeto (DAVE, 2013). O BIM reduz consideravelmente os conflitos entre diferentes projetos pelo fato de concentrar informações em uma única fonte e possibilitar a verificação de conflitos. Além disso, pode-se gerar mais facilmente diferentes alternativas de projeto pois permite a manutenção da informação garantindo a integridade do modelo (TAURIAINEN *et al.*, 2016).

Para Sacks *et al.* (2010), as funções - geração automática de tarefas, simulação dos processos da construção e visualização 4D do planejamento da construção - servem para reduzir o tempo de ciclo durante a construção pelo fato de possibilitarem a identificação antecipada dos conflitos existentes no planejamento da construção. E como consequência, podemos ter a redução

substancialmente dos custos e dos prazos previstos para a construção (DAWOOD; SIKKA, 2009).

Usualmente, as tomadas de decisões para ações corretivas e revisões de cronogramas ocorrem em reuniões de planejamento nas quais participam diversos intervenientes que podem ter interesses distintos e, além disso as informações precisam ser comunicadas de forma fácil e rápida (FARD *et al.*, 2009). A disponibilidade de informações ao público por meio de dispositivos visuais torna o processo diretamente observável, aumentando a transparência do processo e contribuindo para a visibilidade dos possíveis erros (KOSKELA, 1992). De certa forma, o objetivo é utilizar recursos visuais como uma forma de tornar a comunicação simples e atrativa (TEZEL; KOSKELA; TZORTZOPOULOS, 2010). São exemplos dessa utilização a elaboração de painéis mostrando o progresso da construção por meio da comparação entre imagens do modelo 4D contendo informações das atividades planejadas e os registros fotográficos realizados em campo (FARD; PEÑA-MORA, 2007).

A última interação identificada tem relação ao princípio *Lean* “decidir por consenso considerando todas as opções”, quando o círculo de tomadores de decisão é ampliado, pode-se ampliar o número de opções consideradas, aumentando-se a probabilidade de encontrar a melhor solução (SACKS *et al.*, 2010). Com a capacidade de visualização 4D do processo de construção, o sequenciamento de atividades pode ser devidamente analisado e monitorado, melhorando o processo de tomada de decisão (BHATLA; LEITE, 2012).

### 3.3 USO DE MODELOS 4D EM EMPREENDIMENTOS DA CONSTRUÇÃO

A gestão dos espaços do canteiro de obras desempenha um papel importante no processo de gestão do empreendimento como um todo, a partir da identificação e análise dos requisitos e das restrições dos espaços é possível alcançar a eficiência e eficácia das atividades da construção (CHUA; YEOH; SONG, 2010). Voltados para a análise dos espaços disponíveis no canteiro de obras, Kassem; Dawood e Chavada (2015) desenvolveram um método para a gestão dos espaços de trabalho, por meio da alocação dos espaços de trabalho para a realização das atividades do canteiro, detecção de congestionamentos, conflitos espaciais e temporais e suas resoluções, sendo todos esses integrados dentro de uma ferramenta 4D compatível com IFC. Choi *et al.* (2014) também sugeriram uma estrutura para o processo de planejamento do espaço de trabalho em um ambiente BIM 4D, que integra as características das atividades, o espaço de trabalho e o plano da construção. Na mesma linha de pesquisa, Heesom e Mahdjoubi (2002)

propuseram um sistema para o planejamento dos espaços de trabalho em que as informações podem ser visualizadas em um ambiente de realidade virtual 4D.

O planejamento e a visualização do progresso da construção, também foram abordados em algumas pesquisas, algumas delas citadas anteriormente, como Pitake e Patil (2013) com o desenvolvimento de um método visual para planejamento com aplicação dos modelos 4D. Zhang e Li (2010) desenvolveram um sistema que integrou BIM 4D e tecnologias da construção virtual, com o objetivo de melhoria nos planos da construção e no *layout* do canteiro de obras a partir da representação visual.

Kim; Kim e Son (2013) desenvolveram um método para a medição do progresso da construção usando BIM 4D em conjunto com dados 3D obtidos por tecnologia de sensoriamento remoto. Jongeling e Olofsson (2007) mostraram que o uso combinado do planejamento baseado na localização e modelos 4D torna-se um mecanismo promissor para planejamento do fluxo de trabalho. Li; Stephens e Ryba (2014) descreveram a implementação da modelagem 4D em um empreendimento que, com as ferramentas de visualização, permitiram o estudo dos fluxos de trabalho, além do planejamento e controle da utilização dos espaços. Yu; Li e Luo (2016) desenvolveram um modelo dinâmico baseado em BIM para o fornecimento de materiais no canteiro de obras, com o objetivo de garantir que os materiais necessários, nas quantidades e locais corretos, pudessem ser fornecidos para as equipes de construção do empreendimento. A aplicação da modelagem 4D nesse estudo auxiliou todo o processo, com a simulação das atividades planejadas e do *layout* do canteiro de obras.

Com relação a industrialização, Borjegahleh e Sardroud (2016) discutiram a aplicação do BIM e seus benefícios para a industrialização da construção. Um dos benefícios identificados foi a incorporação de softwares de simulação 4D para o planejamento de materiais, mão de obra e equipamentos nos diferentes estágios do processo de industrialização. Li; Shen e Xue (2014) identificaram cinco categorias de interesse de pesquisa na área de pré-fabricados na construção, sendo uma delas as estratégias de projeto, produção, transporte e montagem. Em destaque nessa categoria, o processamento do fluxo de informações foi abordado por Ergen e Akinci (2008) para empresas ETO. Os referidos autores afirmam que, devido à alta customização, para gerenciar efetivamente o fluxo de componentes ETO na cadeia de suprimentos é necessário rastrear cada peça individualmente, de forma a permitir a troca de informações entre produção, expedição e montagem.

Um dos poucos trabalhos que abordaram a gestão logística de sistemas construtivos pré-fabricados do tipo ETO foi o trabalho de Bortolini (2015), que propôs um modelo de planejamento e controle logístico de estruturas metálicas pré-fabricadas com o uso da modelagem BIM 4D. Foi explorado no mesmo a sinergia entre funcionalidades do BIM e princípios da Filosofia da Produção Enxuta (*Lean Production*), conforme sugerido por Sacks *et al.* (2010). Bortolini (2015) propôs um modelo hierarquizado de planejamento e controle logístico com o uso de BIM 4D que busca introduzir a produção puxada, padronizar processos logísticos, dividir a obra em pequenos lotes, e aumentar a transparência de processos. Esse modelo dá ênfase à gestão dos fluxos físicos, incluindo equipamentos e materiais, considerando operações de descarregamento e movimentação dos componentes e a posição dos estoques.

As atividades envolvidas no planejamento logístico do empreendimento foram divididas em macro *layout*<sup>3</sup> e micro *layout*<sup>4</sup>. A Figura 11 representa o fluxo de atividades para o planejamento logístico do empreendimento referentes ao macro *layout*, que envolvem o desenvolvimento do modelo 4D e a definição da estratégia de ataque para posteriormente dimensionar espaços para a realização das atividades, definir o posicionamento dos estoques e instalações, definir a forma de abastecimento, escolher equipamento, definir acessos e vias de veículos e pedestres ao canteiro.

Uma vez que o escopo do presente trabalho é entender como as informações dos modelos BIM 4D podem ser úteis para a gestão logística de obras de sistemas pré-fabricados em concreto ETO, algumas das aplicações exploradas em trabalhos existentes foram levadas em consideração no desenvolvimento da presente pesquisa: o estudo dos fluxos de trabalho (LI; STEPHENS; RYBA, 2014); a simulação das atividades planejadas e do *layout* do canteiro de obras (YU; LI; LUO, 2016); a gestão dos espaços de trabalho (KASSEM; DAWOOD; CHAVADA, 2015); além do estudo de Bortolini (2015), que orientou algumas decisões acerca do planejamento logístico do canteiro de obras.

---

<sup>3</sup> Macro *layout* corresponde a etapa de definição do arranjo físico geral e, envolve o estabelecimento do local em que cada área do canteiro (instalação ou grupo de instalações) irá situar -se, devendo ser estudado o posicionamento relativo entre as diversas áreas (SAURIN, 1997).

<sup>4</sup> Micro *layout* corresponde a etapa de detalhamento do arranjo físico geral, estabelecendo a localização de cada equipamento ou instalação dentro de cada área do canteiro (SAURIN, 1997).





## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta uma descrição do método de pesquisa utilizado para a realização desse trabalho. São descritos a estratégia de pesquisa adotada e o delineamento do processo de pesquisa. Na sequência, é realizada a descrição dos estudos empíricos desenvolvidos, com a descrição das empresas, dos empreendimentos e das atividades realizadas. Por fim, são apresentados os constructos definidos para avaliação do modelo proposto.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O presente trabalho adotou a abordagem da *Design Science Research* (DSR), também conhecida como pesquisa construtiva. Este tipo de pesquisa busca explorar novas soluções para resolver problemas, além de explicar a exploração deste problema, melhorando o processo de solução de problemas estabelecidos (HOLMSTROM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). A *Design Science Research* tem foco no desenvolvimento de conhecimento traduzido na prescrição de alternativas de soluções para uma classe de problemas (VAN AKEN, 2004).

Simon (1996 *apud* VAISHNAVI; KUECHLER, 2015)<sup>5</sup> faz uma distinção clara entre ciências naturais (*Natural Science*) e ciências do artificial (também conhecidas como *Design Science*). Segundo o mesmo autor, as ciências naturais produzem conhecimentos sobre algumas classes de coisas - objetos ou fenômenos - no mundo (ou sociedade), que descreve e explica como estes se comportam e interagem uns com os outros, enquanto as ciências do artificial referem-se ao design de objetos e fenômenos artificiais (feitos pelo homem) - artefatos - projetados para atingir objetivos desejados. Dessa forma, enquanto as ciências naturais tentam entender a realidade, a *Design Science* busca criar coisas que servem a propósitos humanos (MARCH; SMITH, 1995).

A DSR envolve atividades relacionadas à construção e avaliação de artefatos para atender às necessidades organizacionais, bem como o desenvolvimento de suas teorias associadas, de forma que esses artefatos devem atender a um conjunto de requisitos de utilidade (VAISHNAVI; KUECHLER, 2015). A Figura 12 apresenta os elementos-chave da DSR de

---

<sup>5</sup> SIMON, H. **The Sciences of the Artificial**, MA: MIT Press, Cambridge, 1996.

acordo com Kasanen; Lukka e Siitonen (1993). Os mesmos autores salientam que uma parte essencial da pesquisa construtiva é vincular o problema e suas soluções com o conhecimento teórico acumulado.

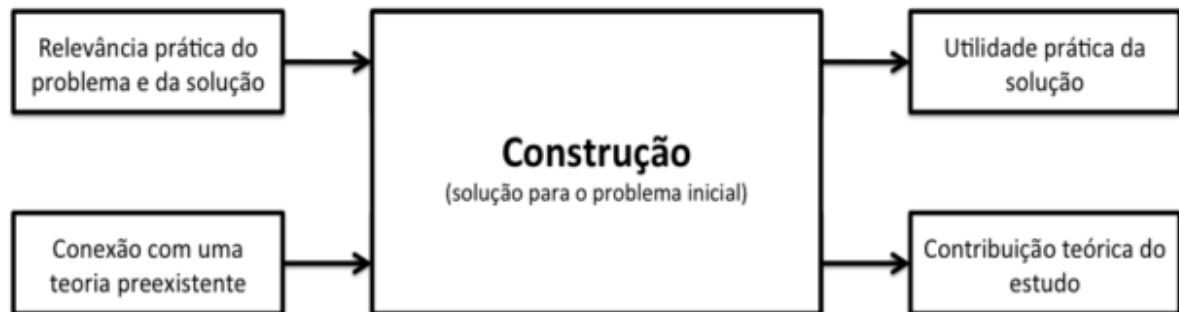


Figura 12 – Elementos centrais da abordagem de pesquisa construtiva  
(Fonte: adaptado de Kasanen; Lukka; Siitonen, 1993)

March e Smith (1995) propõem quatro produtos (*research outputs*) para a pesquisa DSR: constructos, modelos, métodos e implementações. Os constructos ou conceitos constituem a conceitualização utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e especificar suas soluções e, quando relacionados, formam um conjunto de proposições ou afirmações designados modelos (MARCH; SMITH, 1995). Os métodos são um conjunto de passos utilizados para executar uma tarefa e baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) do espaço de soluções (MARCH; SMITH, 1995). Por fim, a implementação de um artefato no seu ambiente a partir da operacionalização de constructos, modelos e métodos (MARCH; SMITH, 1995).

Segundo Lukka (2003), as principais características da DSR são: (a) foco em problemas do mundo real relevantes a serem resolvidos na prática; (b) produção de um artefato inovador destinado a resolver o problema do mundo real proposto inicialmente; (c) tentativa de implementação do artefato desenvolvido e assim, testar a sua aplicabilidade prática; (d) envolvimento e estreita cooperação entre o pesquisador e os profissionais, de maneira que é esperado que acontecesse o aprendizado baseado na experiência; (e) estar explicitamente ligado ao conhecimento teórico prévio; e (f) atenção especial à reflexão dos resultados empíricos com base na teoria.

Alguns tipos de pesquisa ação (*action research* - AR) podem ser enquadradas em DSR na medida em que se busca resolver classes de problemas por meio da realização de algum tipo de

intervenção, resultando na produção de um artefato (COLE *et al.*, 2005). De fato, a AR é fundamentalmente uma abordagem orientada para a mudança, na qual o pressuposto central é que os processos sociais complexos podem ser mais bem estudados por meio da introdução da mudança nesses processos e da observação de seus efeitos ((BASKERVILLE, 2001 *apud* COLE *et al.*, 2005)<sup>6</sup>. O resultado da AR surge do envolvimento com membros de uma organização por meio de um assunto que é do interesse genuíno deles (EDEN; HUXHAM, 1996).

Uma possível deficiência de estudos que adotam a DSR é a falta de um estágio claro para a reflexão, no qual a produção de conhecimento seja discutida em um nível mais abstrato. Assim deve-se refletir sobre os resultados para entender como eles têm contribuído para a mudança procurada e por que o sucesso ou fracasso é observado nas configurações organizacionais (COLE *et al.*, 2005). A perspectiva fornecida por uma abordagem AR pode ser útil e pode ser incorporada como reflexão sobre o resultado do processo de pesquisa (COLE *et al.*, 2005). Para Sein *et al.* (2011), para conduzir DSR é necessário reconhecer que muitas vezes o artefato emerge da interação com o contexto organizacional, mesmo quando seu projeto de pesquisa inicial é guiado pela intenção dos pesquisadores. Sein *et al.* (2011) usam a expressão *action design research* (ADR) para designar este tipo específico de DSR.

O principal produto desta pesquisa foi a construção de um modelo. O artefato foi construído ao longo dos estudos empíricos para solucionar problemas relacionados à gestão dos processos logísticos. Utilizou-se como ponto de partida um outro modelo para planejamento e controle logístico, previamente proposto pela pesquisadora Bortolini (2015). Dada a existência de cooperação e interação entre a empresa alvo e o pesquisador, a proposição do artefato e o desenvolvimento da ferramenta para elaboração dos planos de cargas contou com ciclos de avaliação e discussões entre os envolvidos no processo de pesquisa, gerando aprendizado e reflexões, incorporando ciclos típicos da AR na fase de implementação.

---

<sup>6</sup> Baskerville, R. **Conducting Action Research: High Risk and High Reward in Theory and Practice** in *Qualitative Research in IS: Issues and Trends*, E. M. Trauth (Ed.), Idea Group Publishing, Hershey, PA, 2001.

## 4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da presente pesquisa está apresentado na Figura 13, tendo como referência os passos propostos por Lukka (2003).

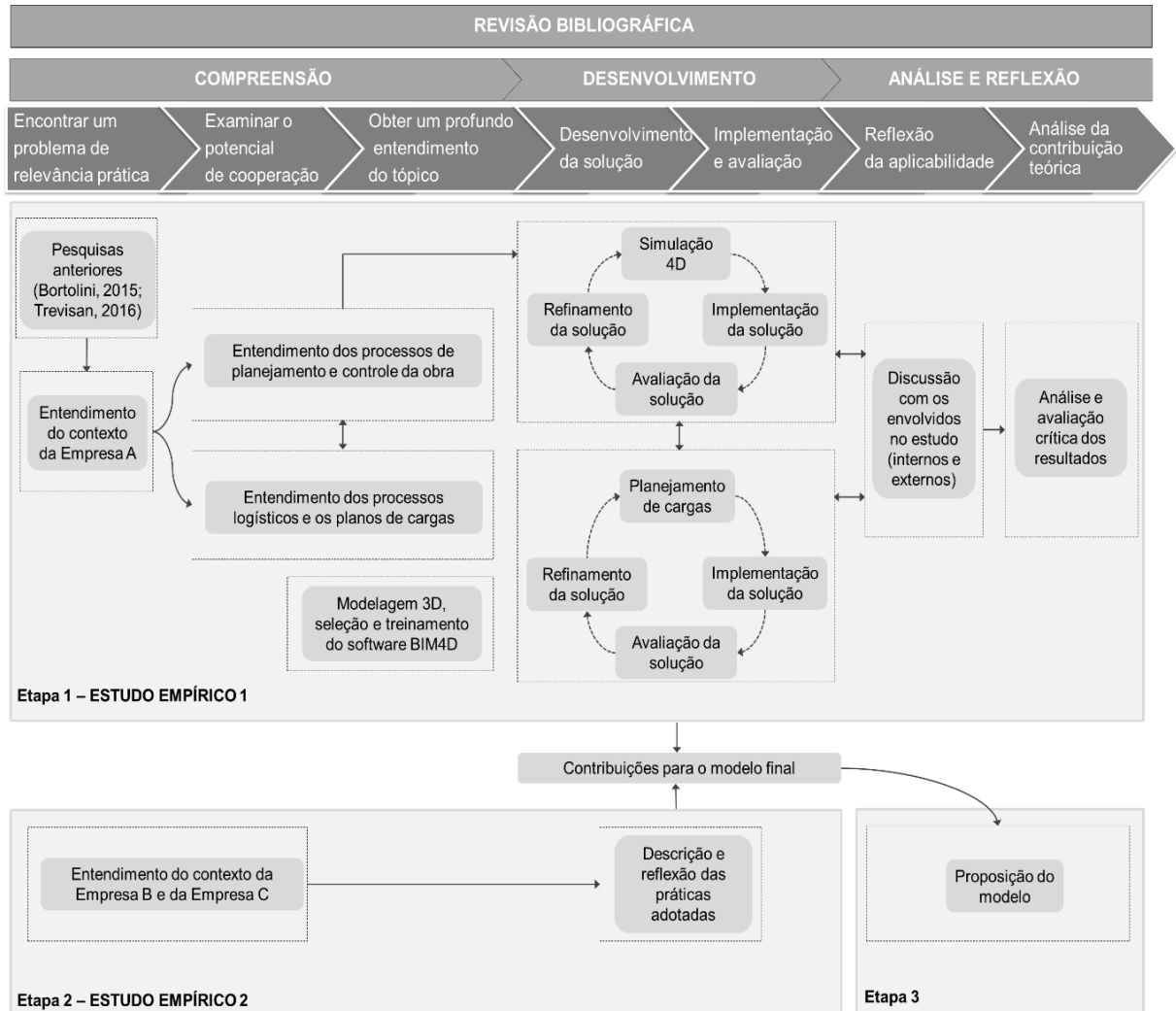


Figura 13 – Delineamento do processo de pesquisa

A pesquisa foi dividida em três fases, que abrangeram as etapas de compreensão, desenvolvimento e análise e reflexão, sendo realizados dois estudos empíricos. O Estudo 1, foi realizado na empresa A, que atua no projeto, produção e montagem de estruturas pré-fabricadas de concreto. Este estudo foi realizado no período entre junho de 2015 a abril de 2016. Durante o desenvolvimento deste estudo, além desta pesquisadora, formaram a equipe de pesquisadores

mais cinco integrantes<sup>7</sup>. Vale ressaltar que a principal empresa envolvida no desenvolvimento deste trabalho foi a Empresa A e, portanto, esta será mais enfatizada. As demais serão descritas brevemente, apenas para contextualização.

O Estudo 2, de caráter complementar à pesquisa, com a finalidade de apenas observação dos eventos sem interferência do pesquisador, teve duas empresas envolvidas, uma empresa gerenciadora de obras, denominada empresa B, e a empresa responsável pelo projeto, fabricação e montagem da estrutura pré-fabricada em concreto, denominada de empresa C. O segundo estudo foi realizado no período de junho de 2016 a agosto de 2016.

A revisão de literatura estendeu-se ao longo de todo o processo de desenvolvimento do trabalho. Os tópicos abordados na revisão foram essenciais para as análises dos resultados obtidos ao longo da pesquisa e concentraram-se principalmente no entendimento dos sistemas de produção, com foco em conceitos e princípios da filosofia da produção enxuta, sistemas do tipo ETO, gestão logística, e aplicações da modelagem BIM 4D.

A etapa 1 da pesquisa consistiu na identificação de uma lacuna do conhecimento a partir da análise profunda de problema prático, conforme sugerido por Van Aken (2004). Foram utilizados dados de estudos anteriores sobre sistemas pré-fabricados do tipo ETO (BORTOLINI, 2015; VIANA, 2015; TREVISAN, 2016), e também informações coletadas diretamente na Empresa A. Essa etapa permitiu à equipe da pesquisa compreender o contexto e as necessidades de melhoria da empresa A. Com relação ao processo logístico da empresa, foi feito um diagnóstico para entender as formas de abastecimento à obra e a troca de informações entre a fábrica e as obras, bem como os métodos de planejamento e controle utilizados de montagem, incluindo os processos logísticos.

Posteriormente, teve início um entendimento teórico mais aprofundado sobre o problema identificado e suas peculiaridades. Ainda, durante a etapa de compreensão, foi realizada a seleção do software para modelagem BIM 4D, o treinamento da pesquisadora e bolsistas de iniciação científica envolvidas no projeto de pesquisa e a modelagem 3D do projeto do empreendimento estudado.

---

<sup>7</sup> Dra. Iamara Bulhões, Dra. Daniela Viana, Arq. Guillermina Peñaloza e as bolsistas de iniciação científica Ana Júlia Smolinski e Débora Dadalt.

Na fase de desenvolvimento da etapa 1, os modelos BIM 4D apoiaram à tomada de decisões relacionadas ao planejamento logístico do canteiro de obras, com ênfase na organização do canteiro de obras e no planejamento do fluxo de componentes, incluindo a definição e sequenciamento das cargas. Durante esta etapa, foram realizados *workshops* para discussão dos resultados com diversos representantes da empresa, que marcaram o fechamento de ciclos de aprendizagem.

Na fase de análise e reflexão da etapa 1 foram realizadas discussões entre a equipe de pesquisadores e os usuários das ferramentas propostas, a fim de refletir sobre o processo de implementação e os resultados alcançados no trabalho.

Na etapa 2 da pesquisa, foi realizado o estudo empírico E2, de caráter descritivo, baseado nas práticas adotadas pelas empresas envolvidas, a fim de entender, principalmente, as interações entre os sistemas pré-fabricados de concreto e outros sistemas construtivos envolvidos em um processo de construção industrializada. O foco foi o acompanhamento das atividades de montagem da estrutura pré-fabricada de concreto e na interface dessas atividades com as demais atividades que estão sendo executadas na obra, principalmente as equipes da estrutura metálica e das instalações hidrossanitárias. Além disso, o estudo permitiu analisar o contexto no qual os componentes são produzidos no próprio canteiro de obras.

Na última etapa da pesquisa, etapa 3, foi realizada uma análise cruzada dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Para a proposição do modelo para gestão dos processos logísticos, além dos resultados dos estudos, foi utilizado como referência o modelo anteriormente desenvolvido por Bortolini (2015), embora este não tenha sido aplicado formalmente em nenhum dos estudos. A solução foi avaliada com base em um conjunto de constructos e, a partir da análise dos dados, identificaram-se as contribuições práticas e teóricas alcançadas por esse trabalho.

## 4.3 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS EMPÍRICOS

### 4.3.1 Estudo empírico E1

#### 4.3.1.1 Descrição da Empresa A

A Empresa A foi fundada em 1976 e atua no segmento de mercado de estruturas pré-fabricadas em concreto, com quatro fábricas em operação. A empresa foi escolhida pois estava engajada

em um processo de melhorias com base nos princípios da Produção Enxuta, e também pelo seu interesse em desenvolver um estudo em parceria com o NORIE-UFRGS na implementação de BIM.

Esta empresa tem dois tipos de negócios no mercado de pré-fabricação em concreto. O primeiro é a venda de produtos padronizados (MTS), que são produzidos e estocados, tais como lajes, estacas, telhas e painéis de fachada. O outro tipo de negócio é venda de estruturas pré-fabricadas do tipo ETO, na qual são negociadas peças específicas e únicas para cada projeto. Neste segundo negócio a empresa atua em diferentes segmentos, tais como *shoppings centers*, varejos (supermercados, lojas), galpões, prédios verticais e construções especiais. Além da produção das estruturas, a empresa elabora o projeto estrutural das obras, e efetua a montagem nos locais pré-determinados pelo cliente.

A Figura 14 apresenta esquematicamente os segmentos de atuação da empresa, sendo os tipos de empreendimento agrupados de acordo com semelhanças na solução construtiva, complexidade de execução e valor de venda. Esta separação em segmentos é importante para a empresa definir as estratégias de atuação, com base em distintos critérios: (a) tempo de entrega: para cada segmento é necessário estabelecer um prazo de montagem factível, definindo-se tempos de contrato distintos para obras com diferentes níveis de complexidade; (b) valor de venda: algumas obras, como *shopping centers* e prédios de múltiplos pavimentos, possuem uma maior dificuldade de fabricação e montagem, sendo mais caras que as demais; e (c) gestão de contratos: algumas obras requerem um esforço de negociação maior, em comparação com outras obras, por serem obras contratadas por órgãos públicos, ou por interagirem com outros subsistemas construtivos complexos, tais como sistemas prediais elétricos, hidráulica, e ar condicionado.



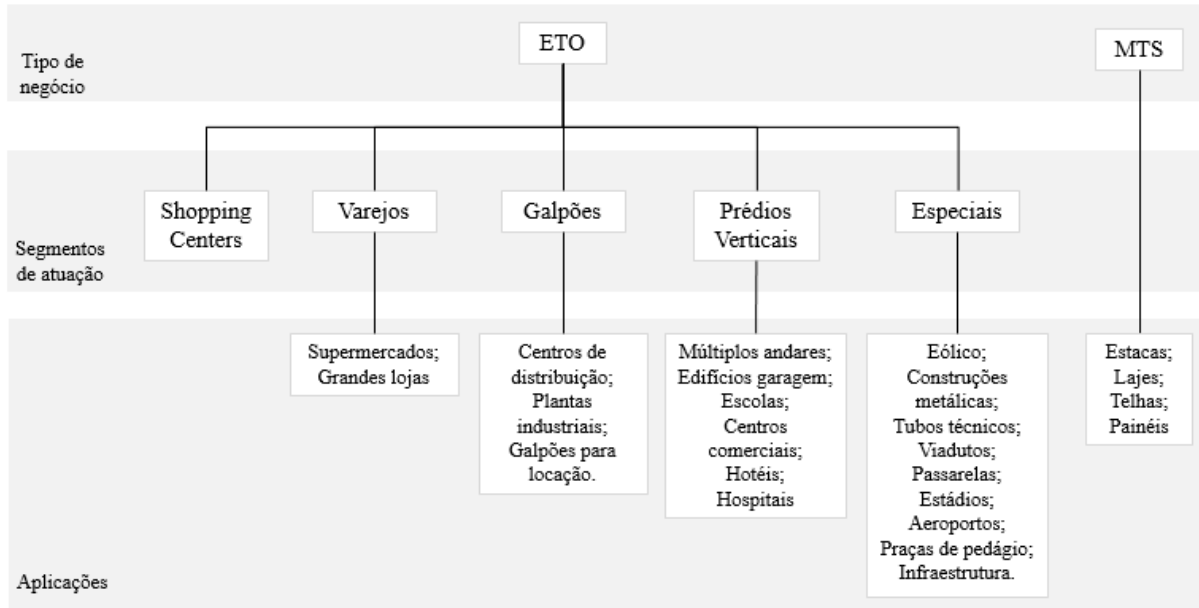


Figura 14 – Segmentos de atuação da Empresa A

A estrutura pré-fabricada da edificação é normalmente dividida em lotes, de maneira a possibilitar a segmentação dos prazos de execução, permitindo o controle de datas marcos e o acompanhamento dentro das operações de montagem, visto que a empresa precisa atender distintas obras ao mesmo tempo, trabalhando em um ambiente de múltiplos empreendimentos. Cada lote é denominado de setor. Para essa divisão, estabeleceram-se parâmetros de tamanho máximo para cada setor de acordo com o segmento de negócio em que a edificação se enquadra. A Figura 15 apresenta estes parâmetros.

	SHOPPING CENTERS	VAREJOS	GALPÕES	PRÉDIOS VERTICAIS
<b>Área máxima/setor</b>	2000 m <sup>2</sup>	2500 m <sup>2</sup>	6000 m <sup>2</sup>	3000 m <sup>2</sup>
<b>Volume máximo/setor</b>	620 m <sup>3</sup>	650 m <sup>3</sup>	600 m <sup>3</sup>	600 m <sup>3</sup>
<b>Relação típica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	0,31 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,26 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,20 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
<b>Restrições adicionais'</b>	Divisões setoriais; Fundações; Capeamento	Altura de pilar; 3 pavimentos/setor; Fundação; Capeamento		Altura de pilar; 3 pavimentos/setor; Fundação; Capeamento

Figura 15 – Parâmetros para a divisão do empreendimento em setores

#### 4.3.1.2 Descrição do Empreendimento E1

O empreendimento estudado (Figura 16) tinha área construída de cerca de 55.000 m<sup>2</sup> e era localizado em Porto Alegre/RS. A estrutura de concreto armado era mista, sendo 67% da área correspondente à estrutura pré-fabricada de concreto e 33% correspondente a uma torre construída em estrutura moldada *in loco*. Neste empreendimento, a empresa foi contratada para execução da estrutura de concreto pré-fabricada, sendo que as fábricas responsáveis pelo abastecimento desse empreendimento eram distantes, situadas nos estados de Santa Catarina e Paraná.



Figura 16 – Vista do Empreendimento E1

Para a montagem dos componentes pré-fabricados, a obra foi dividida em 3 setores, representados esquematicamente na Figura 17. A Figura 18 mostra uma vista em corte da estrutura, identificando a área subterrânea e a parte da edificação moldada “*in loco*”, hachurada em azul. A montagem do primeiro setor teve duração de 4 meses, com início em julho/2015 e foi finalizada em outubro/2015. No primeiro setor, após a montagem da estrutura pré-moldada, iniciou a construção do prédio acadêmico, executado em concreto armado moldado *in loco*. Essa foi considerada uma das principais características desta obra, pois diferentes intervenientes atuavam ao mesmo tempo no canteiro de obras, localizado em uma região central e com restrições de espaço físico. A montagem do segundo setor foi realizada no período de 3 meses, com início em dezembro/2015 e término em janeiro/2016. E no período de fevereiro/2016 a maio/2016 foi realizada a montagem do terceiro setor.

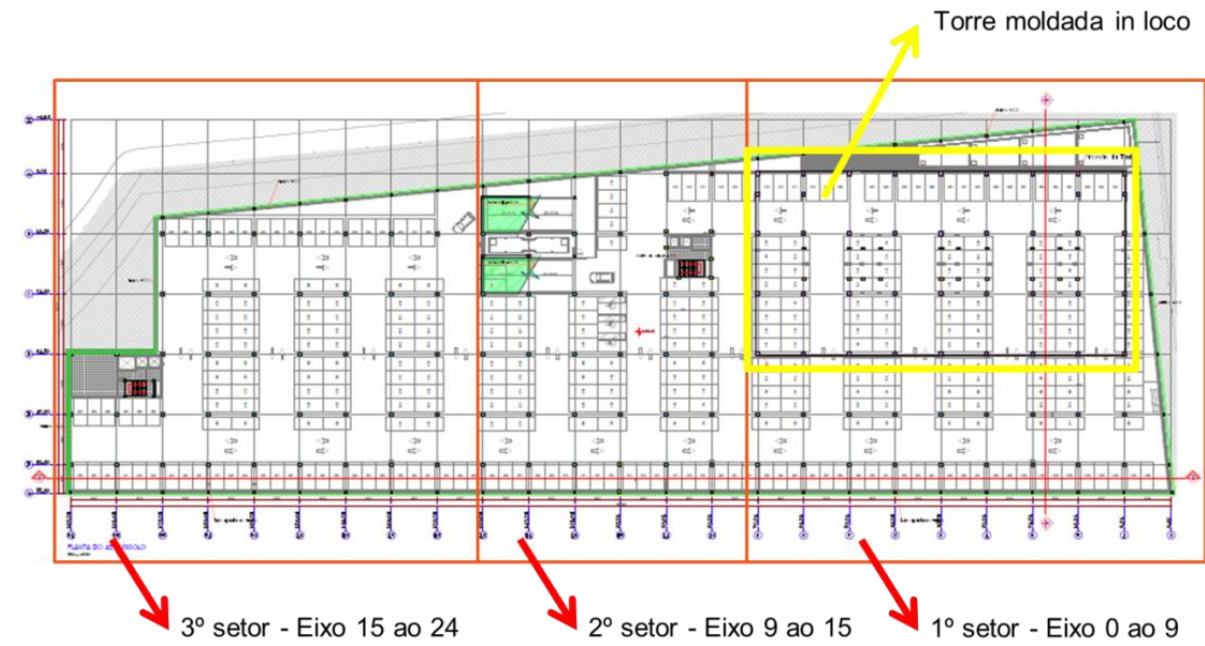


Figura 17 – Planta baixa com a divisão dos setores

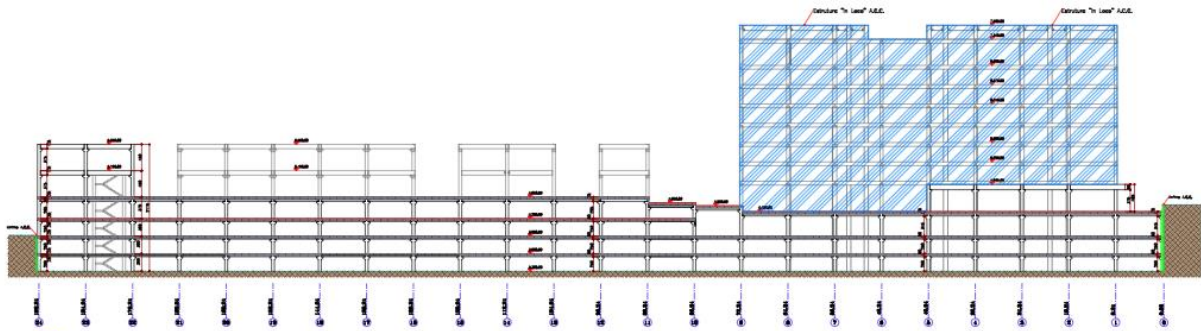


Figura 18 – Vista em corte do empreendimento

#### 4.3.1.3 Descrição das atividades realizadas

A seguir serão descritas as principais atividades realizadas durante o estudo E1, representadas esquematicamente na Figura 19. Também serão descritas as fontes de evidências utilizadas.

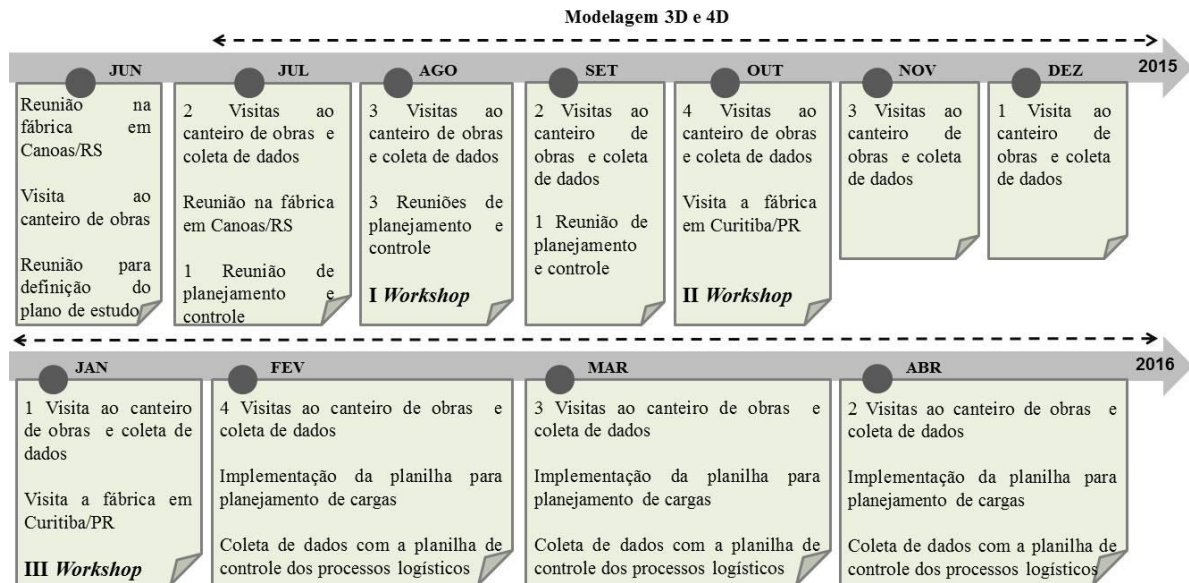


Figura 19 – Atividades do estudo empírico E1

### Preparação para o estudo

A preparação para o estudo teve início com uma reunião entre o gerente de obras da empresa e o engenheiro da obra com a equipe de pesquisadores e teve como objetivo discutir e elencar quais as necessidades da empresa visando o estudo no empreendimento descrito acima. Essa reunião teve duração de aproximadamente 2 horas e foi realizada na sede de uma das fábricas da empresa A, localizada em Canoas/RS, que foi responsável pela produção de parte das lajes do setor 1 do empreendimento E1. Alguns pontos principais foram destacados durante a reunião: abastecimentos da obra; estratégia de ataque e análise do cronograma de atividades planejadas; plano de *rigging*<sup>8</sup> e análise dos projetos.

A primeira visita ao canteiro de obras foi acompanhada do engenheiro da obra e possibilitou o entendimento do canteiro de obras, considerado bastante restrito e complexo. Durante essa visita, o engenheiro de planejamento da empresa construtora da obra descreveu as principais

<sup>8</sup> O plano de *rigging* é o planejamento formalizado de uma movimentação de cargas com guindaste móvel, visando a otimização dos recursos aplicados na operação (equipamentos, acessórios e outros) para se evitar acidentes e perdas de tempo. Ele indica, por meio do estudo da carga a ser içada, das máquinas disponíveis, dos acessórios, condições do solo e ação do vento, quais as melhores soluções para fazer um içamento seguro e eficiente (SÁVIO, 2011).

atividades que estavam em andamento e também os principais desafios a serem enfrentados, entre eles a dificuldade de acesso ao canteiro e a construção da torre moldada “*in loco*”.

Para a definição do plano de estudos, após um entendimento inicial da empresa e do empreendimento, foi realizada uma reunião em que estavam presentes o engenheiro e o estagiário da obra, além da equipe de pesquisadores.

#### Seleção e treinamento do software de simulação BIM 4D

Para a seleção do *software* de simulação 4D foram analisados alguns pacotes que possuíam licenças educacionais disponíveis para o período dos estudos, com destaque para alguns utilizados em pesquisas anteriores na UFRGS. Dois deles foram considerados viáveis para o presente trabalho, o *Navisworks Manage* e o *Synchro Professional*. Foram adotados os critérios de avaliação utilizados por Biotto (2012) e Reck (2013) para a escolha do *software* para este trabalho (Figura 20). Além desses critérios, foi realizada uma análise na lista de atividades exportadas pelos dois programas. O *Navisworks Manage* não exporta a lista de atividade com os recursos que foram atribuídos a cada tarefa, e ficam disponíveis apenas as datas planejadas e executadas de cada atividade, ao contrário do *Synchro*, que disponibiliza os recursos atribuídos a cada atividade criada.

Critérios	Softwares	
	<i>Navisworks Manage</i>	<i>Synchro Professional</i>
Interoperabilidade com software de planejamento e 3D (Biotto, 2012)	***	**
Inserção de arquivos 3D (Reck, 2013)	Vários formatos de importação	Vários formatos de importação Permite sincronização
Facilidade de ligação entre plano e modelo (Biotto, 2012)	***	***
Conexão entre atividade e elemento (Reck, 2013)	Existem regras de conexão Necessidade de separar os elementos em grupos	Manualmente Inserção dos elementos como recursos
Facilidade de editar modelos e gerar vídeos (Biotto, 2012)	*	***
Geração e animação de vídeos (Reck, 2013)	Similar	Similar

Legenda: \*Baixo \*\*Médio \*\*\*Alto

Figura 20 – Critérios para escolha do software de simulação 4D

O *software* com maior escore na avaliação foi o *Synchro Professional*. Dessa forma, foi solicitada uma versão educacional gratuita e, a disponibilizada pela empresa fabricante, foi a *Synchro PRO* (versão 5.0 – 2015). O treinamento para utilização do *software* ocorreu por meio de tutoriais e vídeos disponíveis no *website*<sup>9</sup> do fabricante do *software*.

#### Modelagem 3D e simulação 4D

O processo de modelagem foi dividido em duas etapas. Primeiro, um modelo 3D do projeto estrutural 2D foi produzido. Em seguida, foi elaborado um modelo 3D, no *software Revit*<sup>10</sup>, do canteiro de obras, contendo, além dos componentes pré-fabricados, algumas instalações temporárias, equipamentos principais (grua, guindaste, carreta), vias de acesso e de circulação. O modelo 4D foi gerado no *software Synchro Professional*, sendo utilizado inicialmente um plano de atividades fornecido pela empresa, o qual foi utilizado apenas como ponto de partida para a criação de um novo plano no *software* de simulação 4D.

#### Visitas e coleta de dados no canteiro de obras

No decorrer do estudo, foram realizadas 26 visitas ao canteiro de obras. Durante essas visitas, com duração aproximada de 3 horas, eram realizadas observações diretas e registros fotográficos, assim como anotações sobre as atividades que estavam sendo realizadas e sobre o *layout* do canteiro. Além disso, a partir de conversas informais com os envolvidos no processo de montagem, eram analisadas as necessidades de melhorias. Nessas visitas também foi observada a implementação dos planos logísticos, incluindo o planejamento das cargas.

Diversos documentos disponibilizados pela empresa, a maioria em formato digital, foram utilizados como fontes de evidência, incluindo planilhas de programação de cargas, planos de curto prazo, relatórios do *status* das peças (situação dos pedidos de produção), relatórios de não conformidades, diários de obras, projetos em CAD 2D, e procedimentos de montagem.

Uma planilha para coleta de informações dos processos de montagem (Apêndice A) foi elaborada. A coleta de dados com a planilha foi em um período de seis dias e foram realizadas

---

<sup>9</sup> Disponível em <https://synchro ltd.com/training/>

<sup>10</sup> Auxiliaram na elaboração do modelo 3D as bolsistas de iniciação científica Ana Júlia Smolinski e Débora Dadalt



79 observações neste período. Nessa planilha, o integrante do grupo de pesquisa que estava em campo para realizar a coleta<sup>11</sup> deveria identificar:

- h) O tipo de atividade que estava sendo realizada e o tempo para realização da mesma. As principais atividades observadas foram o posicionamento de equipamento, descarregamento de peças, ancoragens, içamentos de peças, posicionamento e montagem da peça, instalação de equipamentos de proteção coletiva e grauteamento;
- i) Identificação do eixo que estava sendo realizada a atividade;
- j) O número da carga que já estava no canteiro de obras para montagem ou que estava sendo montada;
- k) Os equipamentos que estavam sendo utilizado considerando como os principais: o guindaste, a plataforma de trabalho aéreo (PTA) e a serra de corte para retrabalhos. Neste item também foi considerado a identificação da existência ou não dos projetos de montagem;
- l) Ocorrências de improvisações e os tempos para cada ocorrência,
- m) Exposição ao risco com o registro de atividades que apresentasse riscos de acidentes e;
- n) Ocorrência de imprevistos, tais como falta de acesso, falta de materiais, equipamento estragado, atrasos na chegada de cargas, chuvas ou chegada de peças erradas.

#### Reuniões de planejamento e controle

Foram realizadas observações participantes principalmente nas reuniões de planejamento de curto prazo, envolvendo representantes da equipe de obra da Empresa A (engenheiro responsável pela execução da obra), e da equipe da empresa construtora da obra (engenheiros responsáveis pelo planejamento e pela execução). A pesquisadora participou de cinco reuniões deste tipo com duração de 1 hora cada. Durante duas dessas reuniões, a pesquisadora utilizou a simulação BIM 4D para apresentação de cenários, que apoiaram as discussões e a tomada de decisões.

---

<sup>11</sup> As bolsistas de iniciação científica Ana Júlia Smolinski e Débora Dadalt realizaram as coletas de dados.

Durante a montagem do setor 2 e 3 do empreendimento, as reuniões de planejamento de curto prazo deixaram de ser realizadas formalmente entre as empresas. Foram então, realizadas reuniões entre a equipe de pesquisadores e a Empresa A para discussões sobre o plano de curto prazo e o planejamento das cargas, com apoio da simulação 4D para entendimento da sequência de montagem e melhorias nos processos. Ao todo, foram realizados 18 encontros, com duração de 30 min. A análise de documentos também foi utilizada nesta etapa, principalmente para análise de PPC registrados pelo gestor do canteiro.

#### Visitas à fábrica da Empresa A

No decorrer do estudo, foram realizadas duas visitas a fábrica localizada em Curitiba/PR, com o objetivo de ampliar o entendimento sobre os processos de produção das peças, a interação entre os departamentos da empresa e, também, a relação com os clientes quanto ao atendimento das obras.

A observação direta e as entrevistas não estruturadas foram as principais fontes de evidências utilizadas. Foram realizadas seis entrevistas não estruturadas, com duração de aproximadamente 1 hora, com os responsáveis pelos departamentos de projetos, planejamento integrado, planejamento e controle da produção, controle de qualidade, expedição e montagem. O objetivo destas entrevistas era entender as interações entre os departamentos, bem como os principais desafios enfrentados por cada um, na percepção dos entrevistados.

#### Realização de *Workshops*

Foram realizados três *workshops* como forma de relatar as atividades que estavam sendo realizadas na pesquisa, de maneira que fosse realizada uma avaliação dos resultados e obter sugestões para a continuidade do estudo. A Figura 21 descreve o escopo e os participantes envolvidos em cada um dos *workshops*. Inicialmente era realizada uma discussão conceitual para que todos os participantes pudessem se inteirar com conceitos importantes. Posteriormente, era realizada a apresentação dos resultados obtidos nas análises do estudo e por fim, eram apresentadas oportunidades futuras para o prosseguimento da pesquisa.



<b>Data</b>	<b>Participantes</b>	<b>Escopo</b>
<b>28/08/2015</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe de pesquisadores do NORIE</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento integrado</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento e controle da produção</li> <li>- Gerente de obras da região Sul</li> <li>- Engenheiro da obra</li> <li>- Estagiário da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discussão conceitual: discussão de artigos sobre planejamento e controle da produção <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pull-driven scheduling for pipe-spool installation: simulation of a lean construction technique (TOMMELEIN, 1998).</li> <li>• Stumbling blocks of PPC: Towards the holistic configuration of PPC systems (WIENDAHL; VON CIEMINSKI; WIENDAHL, 2005).</li> </ul> </li> <li>- Discussão dos resultados obtidos com apresentação do diagnóstico realizado na obra e análise do Sistema de produção da Empresa A.</li> <li>- Oportunidades futuras: adaptação dos processos de programação de fábrica e elaboração dos planos de cargas com uso de ferramentas automatizadas.</li> </ul>
<b>23/10/2015</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe de pesquisadores do NORIE</li> <li>- Presidente da empresa A</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento integrado</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento e controle da produção</li> <li>- Coordenador de projetos</li> <li>- Coordenador do departamento de logística</li> <li>- Responsável pela elaboração dos contratos</li> <li>- Gerente de obras da região Sul</li> <li>- Engenheiro da obra</li> <li>- Estagiário da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discussão conceitual: elementos de médio e curto prazo e discussão dos estudos da tese da Iamara Bulhões (BULHÕES, 2009)</li> <li>- Discussão dos resultados obtidos: análise do longo prazo e a relação Empresa A e gerenciadora da obra; avaliação do sequenciamento e planejamento logístico do segundo e terceiro setor (4D + alterações no sequenciamento + atraso nas fundações + retirada do guindaste); planejamento e controle semanal na obra com a compreensão dos problemas enfrentados e a relação montagem-fábrica.</li> <li>- Oportunidades futuras: proposta para sistematização da informação montagem – fábrica e proposta para gestão logística.</li> </ul>
<b>19/01/2016</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe de pesquisadores do NORIE</li> <li>- Presidente da empresa A</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento integrado</li> <li>- Representantes do departamento de planejamento e controle da produção</li> <li>- Coordenador de projetos</li> <li>- Coordenador do departamento de logística</li> <li>- Responsável pela elaboração dos contratos</li> <li>- Gerente de obras da região Sul</li> <li>- Engenheiro da obra</li> <li>- Estagiário da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discussão conceitual: dois estudos da tese da Daniela Viana (VIANA, 2015) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudo 1 - como a evolução da obra pode ser utilizada na programação da fabricação das peças; e Estudo 2 - papel da modularização das peças e como lidar com o problema das tolerâncias na pré-fabricação;</li> </ul> </li> <li>- Discussão dos resultados obtidos: sistema de planejamento e controle da obra; resultados obtidos na simulação 4D; papel do uso de BIM e do 4D na gestão da obra; e caracterização dos riscos observados;</li> <li>- Oportunidades futuras: na gestão logística; na interface fábrica obra e gestão da Segurança.</li> </ul>

Figura 21 – Escopo e participantes dos *workshops*

### 4.3.2 Estudo empírico E2

#### 4.3.2.1 Descrição das Empresas B e C

A Empresa B atua na área de gerenciamento de obras desde 1987, principalmente nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. Suas atividades concentram-se na compatibilização e coordenação de projetos, gerenciamento, fiscalização e coordenação de execução de obras. Além dessas atividades, atua na gestão de contratos, controle de suprimentos e dos custos

da obra. Trabalha com obras de grande porte, tais como supermercados, *shopping centers*, edifícios comerciais, lojas, restaurantes e pavilhões.

A empresa C atua no ramo da pré-fabricação em concreto desde 2000. É uma empresa que, assim como a Empresa A, fornece a solução completa para a obra, com projeto, fabricação e montagem, caracterizando-se como ETO. Atua na construção de *shopping centers*, supermercados, pavilhões industriais e comerciais. A empresa C, ao contrário da empresa A, não possui sede física para a fábrica. A fábrica é instalada dentro do próprio canteiro de obras ou em área próxima. Sendo assim, todo o processo de produção e controle de qualidade das peças é realizado no próprio canteiro. A empresa adota o sistema de formas metálicas e não produz peças com protensão.

#### 4.3.2.2 Descrição do Empreendimento E2

O empreendimento que foi realizado o estudo empírico 2, está situado em Canoas/RS, e consiste na execução de um shopping (Figura 22) com área total construída cerca de 136.000 m<sup>2</sup>. O sistema construtivo adotado foi o pré-fabricado em concreto, com painéis de concreto para a fachada e cobertura em estrutura metálica.



Figura 22 – Vista do Empreendimento E2

As atividades da construção do empreendimento iniciaram em outubro de 2014, com previsão de término para agosto de 2017. A obra foi dividida em 5 setores (Figura 23), com a sequência para a execução das atividades, inicialmente definida, com início no setor 1 e em ordem, até o setor 5.

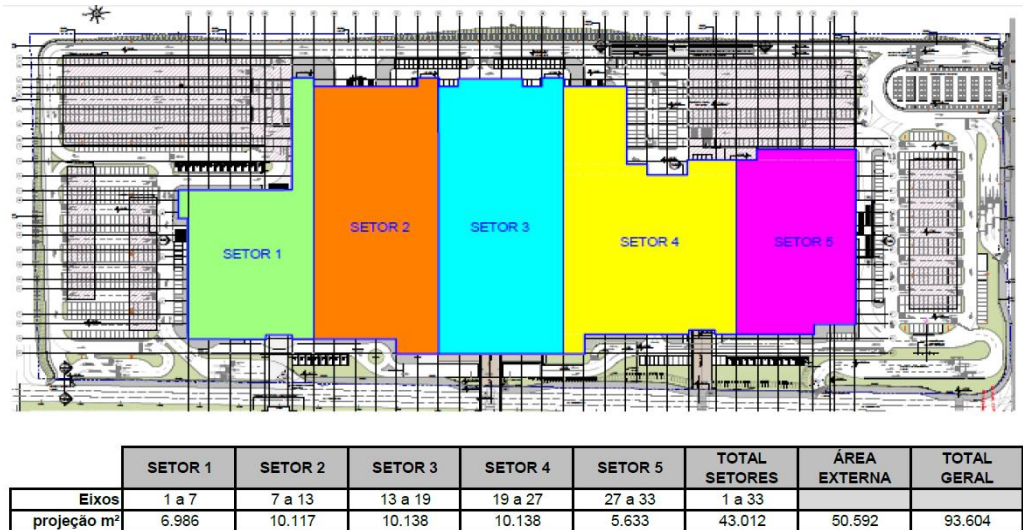


Figura 23 – Divisão da obra em setores

#### 4.3.2.3 Descrição das atividades realizadas

A Figura 24 representa as atividades desenvolvidas durante o estudo empírico E2.

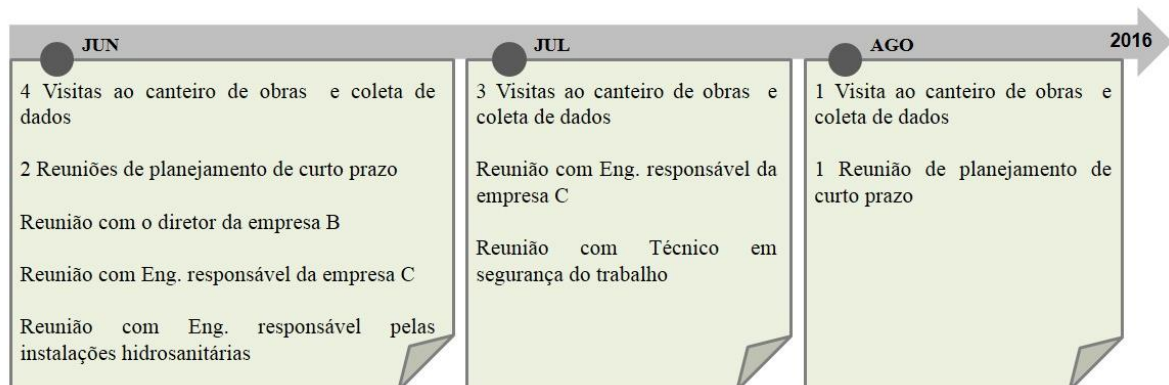


Figura 24 – Atividades do estudo empírico E2

#### Visitas e coleta de dados no canteiro de obras

Por ser um estudo mais curto e descritivo, foram realizadas somente 8 visitas ao canteiro de obras. Durante essas visitas, com duração de aproximadamente 4 horas, foram analisados os processos que estavam em andamento no canteiro de obras e as interações entre os intervenientes, sendo realizados registros fotográficos.

Foram realizadas também entrevistas não-estruturadas com o diretor da empresa B, com o engenheiro responsável pela empresa C, com o engenheiro da empresa de instalações, e com o

técnico em segurança do trabalho responsável pela instalação das redes de proteção utilizadas na montagem das lajes pré-fabricadas. Buscou-se com estas entrevistas capturar informações sobre os processos de montagem, fluxos das atividades e interações entre os processos, sempre com foco na montagem da estrutura pré-fabricada e suas interfaces.

Os documentos disponibilizados para consulta foram os relatórios de obra feitos pela empresa B, os projetos arquitetônicos em 2D e BIM 3D, e o plano de longo prazo. Esses documentos auxiliaram no entendimento das sequencias de execução das atividades e das peculiaridades do projeto em si.

#### Reuniões de planejamento de curto prazo

As reuniões de planejamento de curto prazo tinham uma periodicidade semanal e participavam, no mínimo, um integrante de cada empreiteira que estava atuando no canteiro de obras, um integrante responsável pelo projeto arquitetônico, um integrante da incorporadora e um integrante da gerenciadora (empresa B).

A sistemática de condução das reuniões era bastante variável. Algumas vezes a reunião era realizada na sala de reuniões com todos os participantes juntos, e em outras oportunidades a reunião acontecia no próprio canteiro de obras com cada empreiteiro individualmente. Foram acompanhadas 3 reuniões de planejamento, com duração em torno de 2 horas, com o objetivo de coletar informações para caracterizar as formas de gestão logística e entender as principais dificuldades. Nas reuniões acompanhadas pela pesquisadora participaram os representantes das empresas de pré-fabricados em concreto, estrutura metálica, execução da alvenaria e painéis de fachada, além do diretor e da engenheira de planejamento da empresa B.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Conforme March e Smith (1995), os produtos da DSR são avaliados segundo critérios de valor e utilidade. A contribuição da pesquisa reside na novidade do artefato e na persuasão das afirmações sobre a sua efetividade (MARCH; SMITH, 1995). Conforme Kasanen; Lukka e Siitonen (1993), a utilidade de uma construção gerencial não é provada até que um teste seja realizado. Assim, o critério principal para avaliar os resultados dos estudos aplicados é a sua utilidade prática, a qual tem implicações em questões como a relevância, simplicidade e facilidade de uso desses resultados (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993)

Dessa forma, o artefato gerado foi avaliado em função de dois constructos: utilidade e facilidade de uso. Para a definição desses critérios foram utilizadas pesquisas anteriores como referência, principalmente estudos que já propuseram avaliações de artefatos como Biotto (2012), Reck (2013), Viana (2015) e Bortolini (2015). A Figura 25 representa os constructos principais, desdobrados em subconstructos, e as respectivas fontes de evidências empregadas.

<b>Constructos</b>	<b>Subconstructos</b>	<b>Fontes de evidências</b>
<b>Utilidade</b>	Utilização das informações da simulação BIM 4D na tomada de decisões.	Observação participante Entrevistas não-estruturadas Análise de documentos
	Aumento no entendimento dos processos da construção pelos intervenientes.	Análise de documentos Observação participante Entrevistas não-estruturadas
	Propensão a um ambiente mais colaborativo.	Observação direta Observação participante
<b>Facilidade de uso</b>	Esforço empregado na modelagem e simulação 4D.	Registro de tempos
	Participação dos envolvidos no processo de simulação BIM 4D	Observação participante
	Possibilidade de continuidade do processo após o término do estudo	Entrevista não-estruturadas

Figura 25 – Descrição dos constructos, subconstructos e fontes de evidências

Com relação à **utilidade do modelo**, entende-se que pode ser útil se as informações da simulação BIM 4D forem empregadas para apoiar a tomada de decisão, se promover o aumento no entendimento dos processos da construção pelos intervenientes, e, ainda, se promover e estimular a um ambiente mais colaborativo. As fontes de evidências adotadas foram a observação participante e direta, entrevistas não estruturadas com os envolvidos na construção e análise de documentos.

Com relação à **facilidade de uso** do modelo, considerou-se o esforço empregado na modelagem e simulação BIM 4D, a participação dos envolvidos no processo de simulação 4D, e também a possibilidade de continuidade o interesse da empresa em continuar a implementar melhorias

após a conclusão dos estudos. Além de dados quantitativos, as fontes de evidências utilizadas foram observação participante e entrevistas não estruturadas.

## 5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos estudos empíricos desenvolvidos no trabalho. Ao final, o modelo proposto é apresentado e avaliado conforme os constructos definidos no item 4.4.

### 5.1 ESTUDO EMPÍRICO E1

#### 5.1.1 Diagnóstico inicial

Para o diagnóstico inicial são descritos os principais processos envolvidos na gestão de empreendimentos da Empresa A, e também uma breve descrição da situação inicial do Empreendimento E1.

##### 5.1.1.1 Descrição dos empreendimentos da Empresa A

A Figura 26 representa um mapa do processo referente à entrega de estruturas pré-fabricadas de concreto armado, desde o pedido do cliente até a entrega e montagem das peças no canteiro de obras. Com este mapa, é possível ter uma visão geral do fluxo do empreendimento ao longo das unidades organizacionais e de como estas unidades interagem entre si.

O empreendimento tem seu início na venda de uma proposta pela unidade comercial da empresa ao cliente solicitante de um projeto. A partir de um contato inicial com o cliente, o departamento comercial envia predefinições do escopo do empreendimento ao departamento de orçamentos e o mesmo faz análises preliminares. Essas análises abrangem principalmente quantificações dos produtos que compõem o projeto de construção. Finalizada a análise, o responsável do departamento de orçamentos responde ao departamento comercial com uma proposta de fornecimento. Nesta etapa é também definido o prazo da obra, sendo este processo denominado de aprazamento da obra (Figura 27), ou seja, são definidas datas de início e término para as atividades principais, desde a aprovação do projeto pelo cliente até a montagem em obra. A proposta é então enviada ao cliente, sendo que pode haver diversos ciclos de negociação até o fechamento de um contrato com o cliente, resultando em um pedido com escopo e prazo definidos.



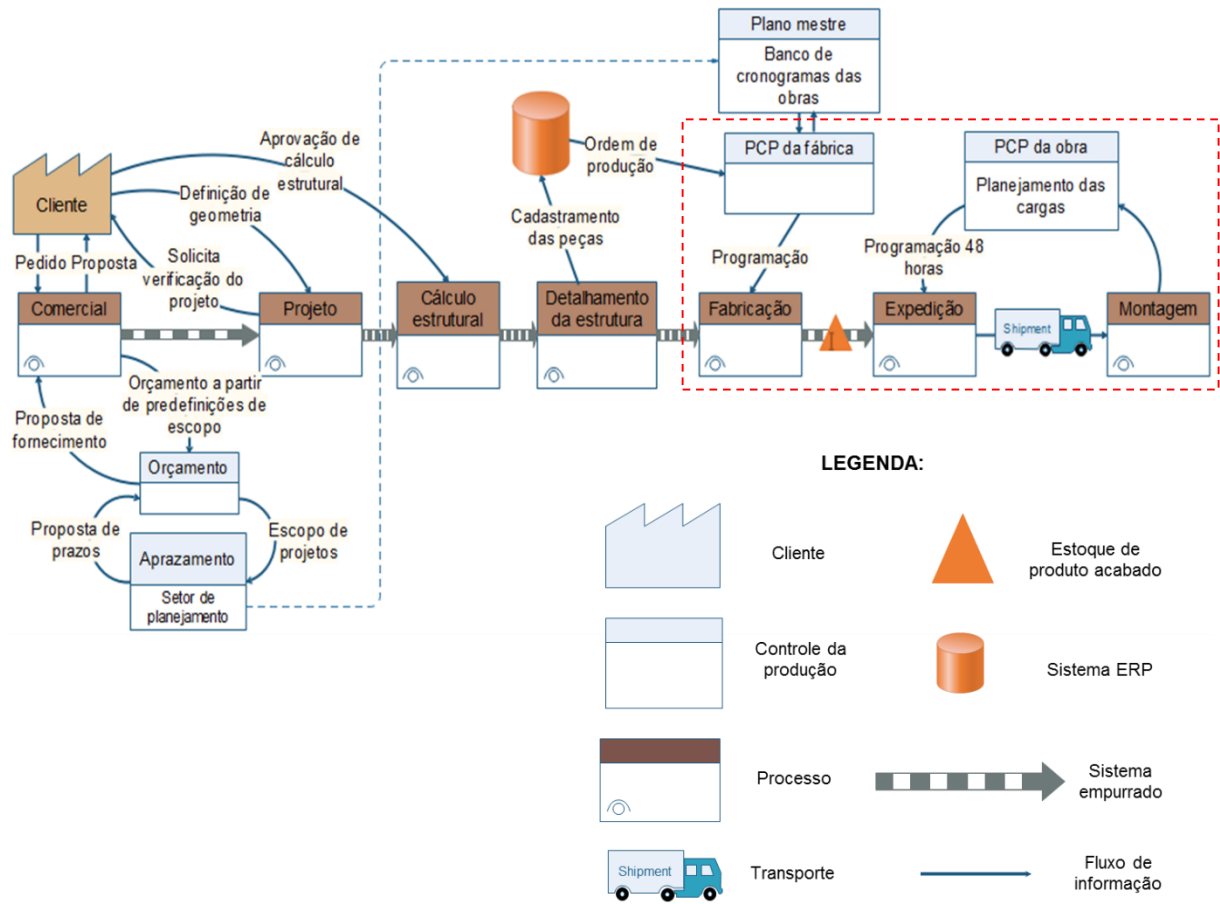


Figura 26 – Visão geral do processo adotado pela Empresa A

PRÉ ETAPA	Início	Fim
Projeto de Aprovação de Montagem	30/03/2015	06/04/2015
Aprovação do Cliente	06/04/2015	13/04/2015
Cálculo Estrutural	14/04/2015	21/04/2015

ETAPA 01		Engenharia		Fabricação		Logística		Montagem	
		Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
01.20	Pilar	13/04/15	20/04/15	27/04/15	04/05/15	11/05/15	18/05/15	25/05/15	02/06/15
01.30	Viga	21/04/15	28/04/15	04/05/15	11/05/15	18/05/15	25/05/15	01/06/15	09/06/15
01.40	Laje	07/05/15	14/05/15	19/05/15	26/05/15	02/06/15	09/06/15	16/06/15	24/06/15
01.50	Escada	15/05/15	22/05/15	27/05/15	03/06/15	10/06/15	17/06/15	24/06/15	02/07/15
01.80	Painél de Fechamento	23/05/15	26/05/15	31/05/15	07/06/15	14/06/15	21/06/15	28/06/15	05/07/15

ETAPA 02		Engenharia		Fabricação		Logística		Montagem	
		Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
02.30	Viga	29/04/15	06/05/15	12/05/15	19/05/15	26/05/15	02/06/15	03/06/15	11/06/15
02.40	Laje	07/05/15	14/05/15	19/05/15	26/05/15	02/06/15	09/06/15	16/06/15	24/06/15
02.50	Escada	15/05/15	22/05/15	27/05/15	03/06/15	10/06/15	17/06/15	24/06/15	02/07/15
02.80	Painél de Fechamento	27/05/15	30/05/15	04/06/15	11/06/15	18/06/15	25/06/15	02/07/15	09/07/15

Figura 27 – Exemplo do aprazamento de obra

Após a contratação, o departamento de engenharia inicia os projetos, que são enviados ao cliente para avaliação. Após a aprovação do projeto final pelo cliente, são iniciados o cálculo estrutural e o detalhamento da estrutura. Com a estrutura detalhada, inicia-se o cadastramento de cada uma das peças integrantes do projeto no sistema da empresa. Com todas as informações



necessárias cadastradas, são geradas as ordens de produção para a fábrica e ainda as ordens de compra de matéria-prima necessária para a produção. Com o recebimento da ordem de produção, o departamento de planejamento e controle da produção (PCP) da fábrica, programa a fabricação dos componentes.

A partir da produção das peças, as mesmas são enviadas ao pátio da fábrica e ficam estocadas até o departamento de expedição receber a solicitação de envio das peças à obra. Essa solicitação é realizada pelo engenheiro responsável da obra, a cada 2 dias, com a elaboração do plano de cargas, em que são descritas as peças necessárias conforme o cronograma de montagem. Dessa forma, a expedição envia para a obra as peças que foram solicitadas e posteriormente, é realizada a montagem desses componentes.

A seguir, são descritos em mais detalhe as unidades de fabricação, expedição e montagem, as mais diretamente envolvidas no desenvolvimento desta pesquisa. Foram identificadas algumas peculiaridades de cada departamento, as quais foram importantes para a proposição de melhorias.

Fabricação: a maximização da utilização da capacidade era um dos objetivos principais do planejamento e controle da produção na fábrica. Por esta razão, a produção de pilares e vigas era realizada em grandes lotes com a intenção de otimizar o uso das fôrmas, que eram de madeira, assim como as vigas protendidas para utilização da capacidade máxima da pista. Com isso, a programação e a produção de partes pertencentes a fases subsequentes e, muitas vezes, indefinidas pelo cliente resultavam em uma grande quantidade de estoque no pátio da fábrica. Esta prática de definir a sequência de produção considerando somente as necessidades da fábrica, influenciava o sequenciamento de montagem das peças no canteiro de obras.

Expedição: esta unidade buscava atender às solicitações das obras, expressas nos planos de cargas, mas também a maximização da utilização da capacidade de transporte. Assim, o carregamento das carretas para envio às obras era realizado a partir do recebimento dos planos de cargas. Entretanto, as cargas incompletas recebiam peças que não faziam parte da sequência de montagem, mas que já estavam produzidas e disponíveis em estoque.

Montagem no canteiro de obras: o foco dos gestores do processo de montagem era maximizar a utilização da capacidade de montagem. A divisão da obra em etapas facilitava o controle de peças para montagem. Entretanto, como a divisão ainda era em grandes lotes, não havia a flexibilidade necessária para enfrentar alguns desafios apresentados, tais como incertezas ou

alterações no projeto por parte do cliente, mudança da sequência de montagem devido a problemas na produção ou a pedido da empresa contratante. Diante disso, não era possível definir uma sequência de montagem muito tempo antes da execução em obra. Muitas vezes, eram recebidas cargas com peças desnecessárias no período e resultando em grandes áreas de estoque no canteiro de obras, restringindo a área necessária para trânsito de equipamentos, rotas de pessoas e acessos a materiais. Não era prática da Empresa A realizar o planejamento formal de seus processos e operações logísticas.

O processo de planejamento e controle da produção não era totalmente hierarquizado. A empresa normalmente elaborava um plano de montagem do empreendimento, correspondente ao plano de longo prazo, discutido e definido com o cliente antes do início da montagem, sendo que este normalmente não era atualizado ao longo da obra. Esse plano era elaborado no *software* MSProject® e tinha como principal função definir as datas de montagem das peças na obra, a partir da divisão em etapas da obra. A Figura 28 mostra um extrato do plano de montagem. O responsável por elaborar esse plano era o analista de planejamento, vinculado ao setor de planejamento. Uma observação importante com relação aos planos de montagem inicial é que o analista planeja em primeiro lugar a montagem dos pilares, seguido das vigas e lajes, não havendo preocupação com a definição de lotes pequenos de produção e montagem. No entanto, como esse plano era apresentado ao cliente antes mesmo do início da montagem, a cobrança pelos prazos vindas do cliente era a partir dessas datas.

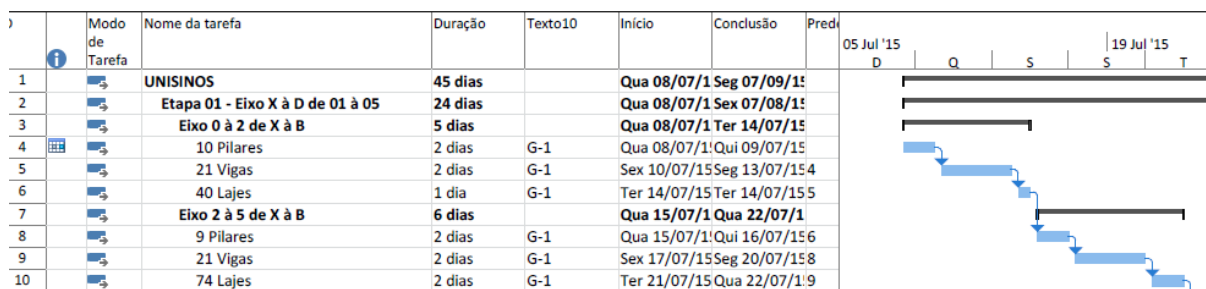


Figura 28 – Extrato do plano de montagem inicial

O plano de montagem por etapas da obra, conforme o exemplo da Figura 29, era realizado pelo gestor do canteiro e continha informações dos prazos de montagem, por semana, para a sequência definida para cada equipe. Cada semana de trabalho era identificada por uma cor para facilitar a visualização. As setas representam a sequência de execução de ataque de cada uma das equipes. Esse plano era disposto no escritório da empresa na obra, para apoiar a gestão do processo de montagem.

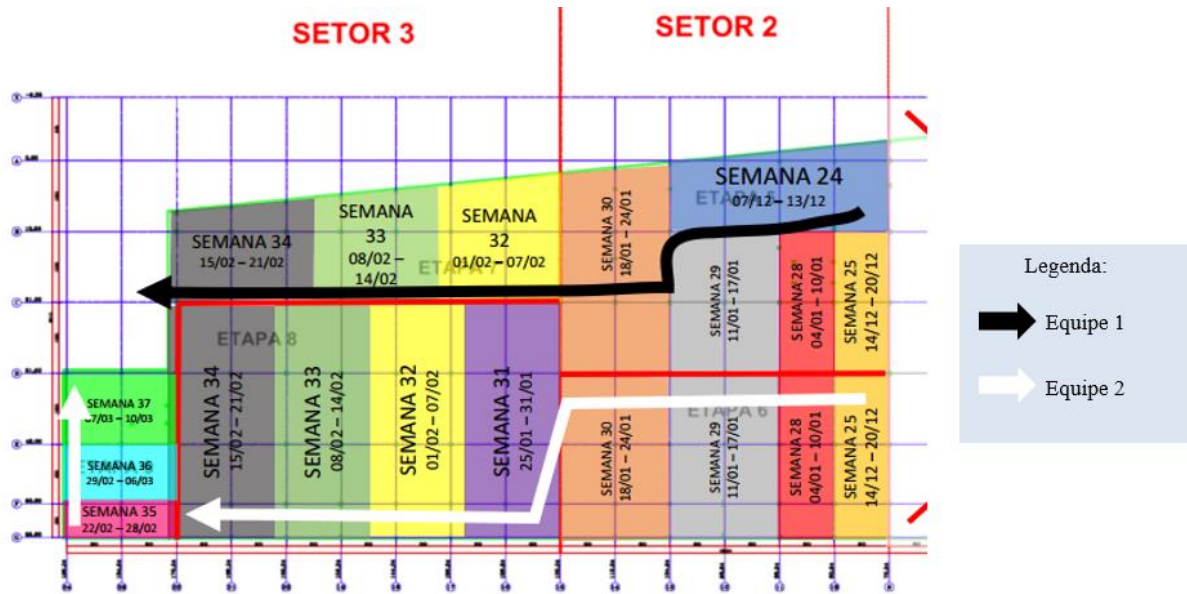


Figura 29 – Plano por etapas da obra

O planejamento de curto prazo era realizado em reuniões realizadas na obra. No plano de curto prazo eram descritas as atividades que deveriam ser realizadas pela equipe de montagem, detalhando cada uma das semanas indicadas na Figura 29, mostrada anteriormente. A Figura 30 representa um extrato de plano de curto prazo e identifica, com a cor laranja, a data planejada para a execução do pacote de trabalho e, com a cor verde, a data real de execução dos pacotes de trabalho.

Item	PACOTES DE TRABALHO	EQUIPE	P	Dias da semana						Percentual Executado	CAUSAS
				14/dez	15/dez	16/dez	17/dez	18/dez	19/dez		
				seg	ter	qua	qui	sex	sab		
1	Montagem de vigas e lajes entre eixos 12-13/A-B, 1º subsolo.	1	E	x				x		100%	
2	Montagem de pilares entre eixos 10/C-D.	1	E	x	x					100%	
3	Montagem de vigas entre eixos 9-10/B-D.	1	E	x	x					100%	
4	Montagem de vigas e lajes entre eixos 11-13/A-B, térreo.	1	E	x	x					100%	
5	Montagem de lajes entre eixos 9-10/B-C, 3º subsolo.	1	E		x					100%	
6	Montagem de lajes entre eixos 9-10/C-D, 3º subsolo.	1	E		x					100%	
7	Montagem de vigas e lajes entre eixos 9-10/B-D, 2º subsolo.	1	E		x		x			100%	
8	Montagem de pilares entre eixos 10/E-G.	2	E			x	x			100%	
9	Montagem de vigas e lajes entre eixos 9-10/G-E, 3º subsolo.	2	E			x			x	100%	

Figura 30 – Extrato do plano de curto prazo

**Planejamento das cargas**

A principal atividade de gestão logística era o planejamento das cargas, no qual são definidos os lotes de transporte. Antes das melhorias serem implementadas na empresa, o plano de cargas era produzido manualmente. Inicialmente, com base nos desenhos 2D e no cronograma de montagem do canteiro, uma lista de componentes necessários e as datas de montagem esperadas era produzida pelo gestor do canteiro.

Em paralelo, o relatório de *status* das peças era gerado e atualizado pelo departamento de planejamento e controle de produção, contendo informações atualizadas sobre os dados da produção e *status* de cada componente (por exemplo, programado, concretado, enviado). Este relatório era disponibilizado para consulta na rede intranet da empresa. A Figura 31 mostra as informações disponibilizadas para consulta. O código de identificação da peça no cadastro é o nome atribuído a esta peça na fase de projeto.

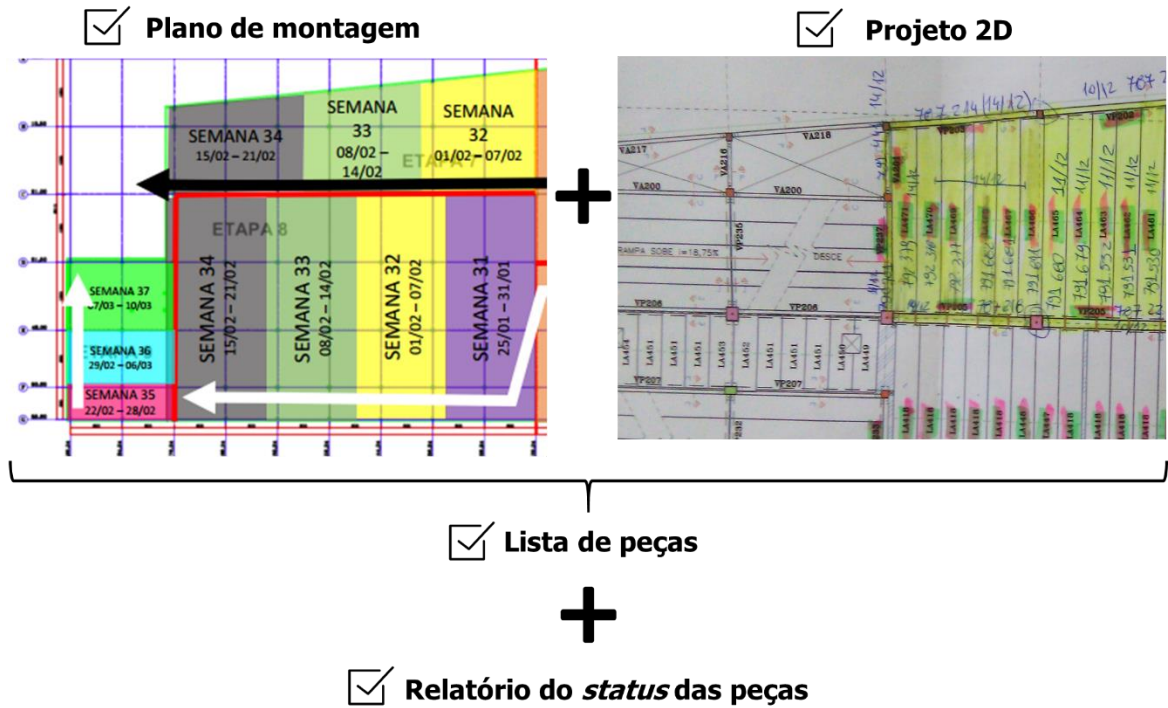
IDENTIFICAÇÃO			UNITÁRIO			PEDIDO			SALDO			QTD.	QTD.	
Peça	Complemento	Desenho	Vol.(m3	Peso (t)	Comp.	Qtde.	Vol.(m3	Peso (t)	Dep.	Pedido	O.P.	Saldo	Reprg.	Refugo
UNDS-VP-000251	L-85/35X40X728	6187-E351A	1,878	4,7	7,28	3	5,63	14,1	123	3	3	0	0	0
UNDS-VP-000252	L-85/35X40X728	6187-E352A	1,894	4,74	7,28	1	1,89	4,74	123	1	1	0	0	0
UNDS-VP-000253	44x70x722	6187-E353A	1,902	4,76	7,22	1	1,9	4,76	123	1	1	0	0	0
UNDS-VP-000254	54x70x722	6187-E354E	2,297	5,74	7,22	1	2,3	5,74	123	1	1	0	0	0
UNDS-VP-000255	44x70x722	6187-E355A	1,902	4,76	7,22	1	1,9	4,76	123	1	1	0	0	0
UNDS-VP-000256	54x70x722	6187-E356E	2,297	5,74	7,22	1	2,3	5,74	123	1	1	0	0	0

CONCRETADO		ACABADO		ENVIADO		QTD.		
Qtde.	Vol.(m3	Refug.	Final	Liber.	Qtde.	Vol.(m3	Saldo	Estoq.
3	5,63	0	3	3	3	5,63	0	0
1	1,89	0	1	1	1	1,89	0	0
1	1,9	0	1	1	1	1,9	0	0
1	2,3	0	1	1	1	2,3	0	0
1	1,9	0	1	1	1	1,9	0	0
1	2,3	0	1	1	1	2,3	0	0

Figura 31 – Relatório do *status* das peças

Com base nestas informações, fazia-se uma análise cruzada da lista de componentes necessários e do relatório de *status* do componente para a verificação e confirmação das datas nas quais as peças necessárias para a montagem estariam disponíveis para envio ao canteiro de obras. Em seguida, o plano da carga era gerado com base na disponibilidade de componentes. O plano elaborado era enviado ao departamento de expedição a cada 2 dias, atuando como único ponto de confirmação da demanda pela obra. A Figura 32 representa esquematicamente este processo.



Peça	Complemento	Desenho	Pedido			Concretado			Acabado		Enviado			Qtde. Estoque
			Qtde.	Vol.(m3)	Peso (t)	Qtde.	Vol.(m3)	Refug.	Final	Liber.	Qtde.	Vol.(m3)	Saldo	
UNOS-PP-000036	70x70x1240	6187-E536A	1	6,42	16,05	1	6,42	0	1	1	1	6,42	0	0
UNOS-PP-000037	70x70x1240	6187-E537A	1	6,42	16,05	1	6,42	0	1	1	1	6,42	0	0
UNOS-PP-000038	70x70x1240	6187-E538A	1	6,37	15,92	1	6,37	0	1	1	1	6,37	0	0
UNOS-PP-000039	30x90x1270	6187-E539A	1	3,51	8,77	1	3,51	0	1	1	1	3,51	0	0

Figura 32 – Processo existente para planejamento de cargas

As principais informações que constavam nesse plano, conforme Figura 33, eram: o número da carga, identificação da equipe, identificação da fábrica de origem, identificação da peça por meio da nomenclatura definida em projeto, situação de produção da peça originada do relatório de *status* ou situação-pedido, localização da peça de acordo com os eixos de projeto, quantidade, peso, data de entrega prevista e data de entrega real (em vermelho). O plano de cargas completo contemplava aproximadamente 45 cargas, sendo planejadas 3 a 4 cargas diárias.

CARGA N°:		58		EQUIPE 1 SC	
PEÇA	PRODUZIDA	EIXO	QTDE	PESO unit	PESO
LA418	OK	11-12/C-D	3	3,31	9,93
LA447	OK	11-12/B-C	1	3,34	3,34
LA433	OK	11-12/C-D	1	3,24	3,24
LA418	OK	11-12/C-D	2	3,31	6,62
LA434	OK	11-12/C-D	1	3,27	3,27
<b>TOTAL Ton.</b>					<b>26,40</b>
<b>ENTREGA</b>				<b>12/jan/16</b>	<b>04/jan/16</b>
				<b>DIA</b>	

Figura 33 – Extrato do planejamento das cargas

O controle das peças solicitadas à fábrica e o controle das peças que chegavam ao canteiro para montagem eram realizados por meio de projetos impressos de cada pavimento, dispostos em



painéis no escritório da empresa A, conforme representado na Figura 34 (a). Todas as peças recebiam uma etiqueta de identificação (Figura 34 (b)), especificadas por um código correspondente ao número gerado no momento da emissão da ordem de produção (OP).



Figura 34 – Controle das peças solicitadas e montadas

#### 5.1.1.2 Descrição do Empreendimento E1

A natureza da complexidade e da incerteza que envolveram a construção do empreendimento E1 pode ser explicada por alguns fatores, diretamente observados durante o processo de construção. A escolha pelo sistema construtivo pré-fabricado em concreto foi resultado da necessidade de rapidez da construção, principalmente pelo uso a qual a edificação seria destinada. No entanto, sempre existem incertezas inerentes ao processo de construção e que acabaram influenciando no cumprimento dos prazos.

O projeto do empreendimento envolveu a concepção e detalhamento de uma variedade de peças, com mínimas diferenças dimensionais e que resultou em um índice de repetitividade baixo. Diante desse fato, a produção das peças na fábrica também se torna mais complexa devido à variação no tamanho das formas e impossibilidade de reaproveitamento dessas. Na Figura 35 apresenta o índice de repetitividade (número total de peças do projeto dividido pelo número de diferentes tipos de peças) para os diferentes tipos de peças. Por exemplo, havia 2051 peças para lajes, distribuídas em 568 tipos diferentes de peças, resultando em um índice de repetitividade de 3,61. Este foi o tipo de peça com maior repetitividade. Os pilares foram os componentes menos repetitivos, com um índice de repetitividade de 1,08.

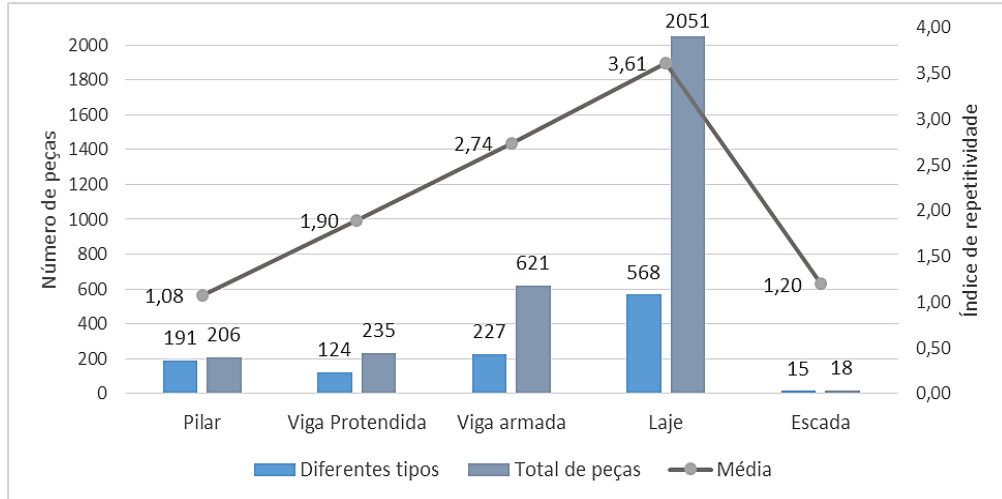


Figura 35 – Índice de repetitividade das peças E1

O canteiro de obras era bastante restrito quanto a espaços e acessos, principalmente pela necessidade de uma grande escavação para a construção de subsolos. Havia apenas uma entrada de veículos, sendo que o acesso de veículos ao canteiro de obras ocorria por meio de uma rampa estreita (ver seta na Figura 36), que demandava muito cuidado no acesso de caminhões.

Em consequência a restrição de espaço físico do canteiro de obras e a existência de equipes de diferentes empresas trabalhando ao mesmo tempo, a circulação e o posicionamento dos equipamentos utilizados na montagem dos elementos pré-fabricados eram dificultados, como mostra a Figura 36. Assim, havia atrasos no descarregamento das peças também em função do bloqueio do acesso por veículos que já estavam no canteiro.



Figura 36 – Circulação de veículos e equipamentos

Muitas vezes, a necessidade de retrabalho não era identificada antes da peça ser expedida e, portanto, eram necessários reparos nas peças no próprio canteiro de obras. Isso aconteceu em razão de falhas no controle de qualidade ao liberar a peça para estoque no pátio da fábrica e também problemas no carregamento e transporte das peças. A Figura 37 (a) ilustra o transporte das peças realizado de forma incorreta - os estrados da carreta estavam em condições inadequadas e a peça foi danificada. A Figura 37 (b) mostra o desvio no posicionamento dos furos de vigas, que não se encaixam nas cordoalhas dos pilares, enquanto a Figura 37 (c) mostra um trabalhador ampliando o furo de içamento que ficou menor que o pino.

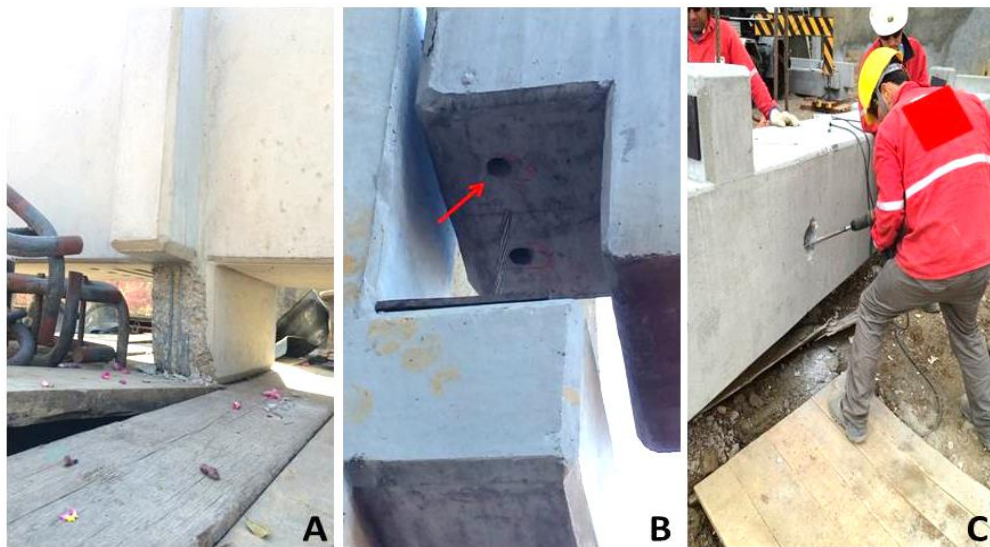


Figura 37 – Retrabalhos em peças

Um diagnóstico foi realizado por outra pesquisadora<sup>12</sup> do NORIE/UFRGS, integrante do projeto de pesquisa sobre o sistema de proteção coletiva adotado durante a montagem das lajes. O sistema adotado era o sistema de linha de vida para montagem de vigas e lajes, porém na montagem de lajes do último pavimento, em que o topo do pilar era no nível da montagem, o sistema adotado foi o sistema de linha de vida com tubos para extensão dessa altura, conforme a Figura 38 (a). Toda a instalação desse sistema durava em torno de 2 horas. No entanto só era possível montar as lajes que estavam entre os pilares de fixação dos tubos, conforme mostra a Figura 38 (b). Esse diagnóstico revelou que o tempo despendido para a instalação do sistema deveria ser considerado no planejamento das atividades de montagem.

<sup>12</sup> Arq. Guillermina Peñaloza



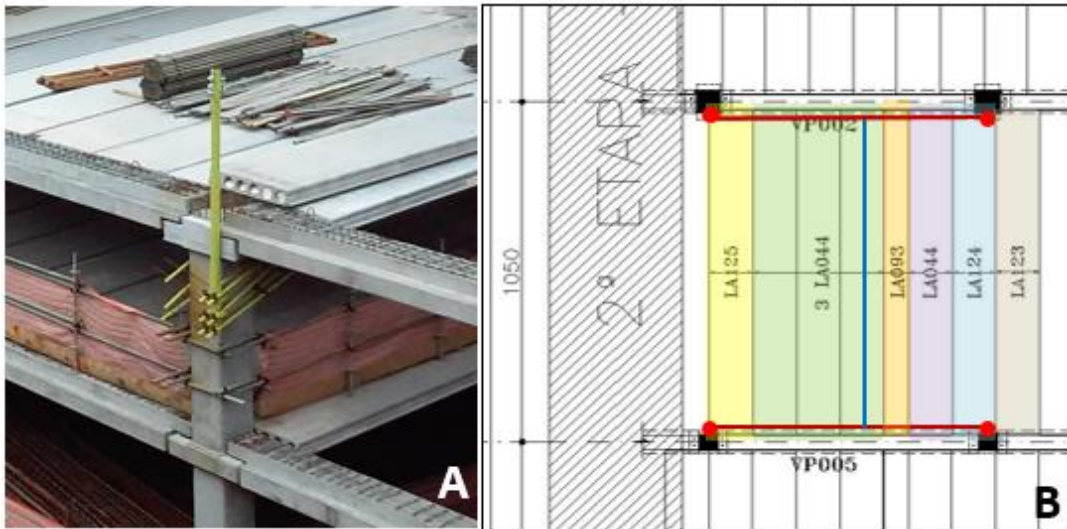


Figura 38 – Sistema de linha de vida com tubos

### 5.1.1.3 Discussão

Na etapa de diagnóstico, buscou-se entender as formas de abastecimento a obra e a interação entre fabricação e montagem, e também o planejamento e controle dos processos logísticos existente, incluindo as atividades de montagem. As análises evidenciaram que os métodos tradicionais, adotados pela empresa, não estavam sendo eficazes e que falhas no fluxo de informações traziam prejuízos ao processo de montagem.

A existência de conflitos entre o plano de montagem inicial e o planejamento das cargas causavam um desequilíbrio entre a capacidade da fábrica e das equipes de montagem em obra. Eram necessárias alterações na sequência de montagem, porém a fábrica, muitas vezes, não tinha condições de atender à demanda, pois a programação da produção de peças estava muito focada no plano de montagem inicial.

Assim, as reais condições do canteiro de obras deveriam ser consideradas de forma sistemática na definição da programação da fábrica e das operações logísticas. Entender o que o canteiro precisa, em termos de componentes, torna-se importante para conectar a fabricação e a montagem. Para esse fim, constatou-se o potencial dos modelos BIM 4D, que podem apoiar os processos de tomada de decisão quanto ao planejamento e controle dos processos logísticos. Eastman *et al.* (2011) reiteram que informações precisas, confiáveis e sempre disponíveis são fundamentais para o fluxo de produtos em qualquer cadeia de suprimentos.

### 5.1.2 Etapas de implementação

Para melhor apresentação dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da pesquisa, foi feita uma divisão em três etapas da implementação, com a divisão em duas abordagens: planejamento logístico do canteiro de obras e o planejamento logístico dos suprimentos, de acordo com a proposta de Silva e Cardoso (1998). A primeira abordagem baseou-se no estudo desenvolvido por Bortolini (2015) que analisou as principais atividades envolvidas nesse processo. A partir disso, a referida autora propôs um modelo que foi utilizado como ponto de partida para o desenvolvimento do modelo desta pesquisa. Ao final do estudo foram realizados *workshops* e a análise das implementações.

#### 5.1.2.1 Primeira etapa de implementação

##### ***Modelagem 3D e 4D***

Todos os projetos elaborados pela empresa foram desenvolvidos em CAD 2D. A concepção, a análise estrutural e o dimensionamento da estrutura pré-fabricada de concreto eram realizados no *software* CAD/TQS<sup>13</sup>. No projeto estrutural, as lajes eram modeladas como painéis inteiros entre as vigas, sendo que as mísulas e emendas de pilares não eram detalhadas. O detalhamento das peças era realizado no *software* AutoCAD. A Figura 39 (a) representa o detalhamento da planta baixa do projeto estrutural e a Figura 39 (b) representa os cortes para detalhamento das seções das vigas. Embora fosse possível exportar arquivos IFC do *software* CAD/TQS, em função das delimitações da modelagem realizada pelos projetistas da empresa, não foi possível a utilização desses arquivos para o objetivo pretendido no trabalho.

Dessa forma, foi realizada a modelagem 3D da estrutura e canteiro de obras no *software* Revit. Para a modelagem 3D, desenvolvida pelos pesquisadores, o nível de desenvolvimento utilizado para o modelo foi LOD 300 para os elementos da estrutura pré-fabricada de concreto e LOD 200 para a modelagem do canteiro de obras e entornos.

---

<sup>13</sup> O CAD/TQS é um sistema computacional gráfico destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural. É desenvolvido e comercializado pela TQS Informática Ltda. (TQS, 2017).

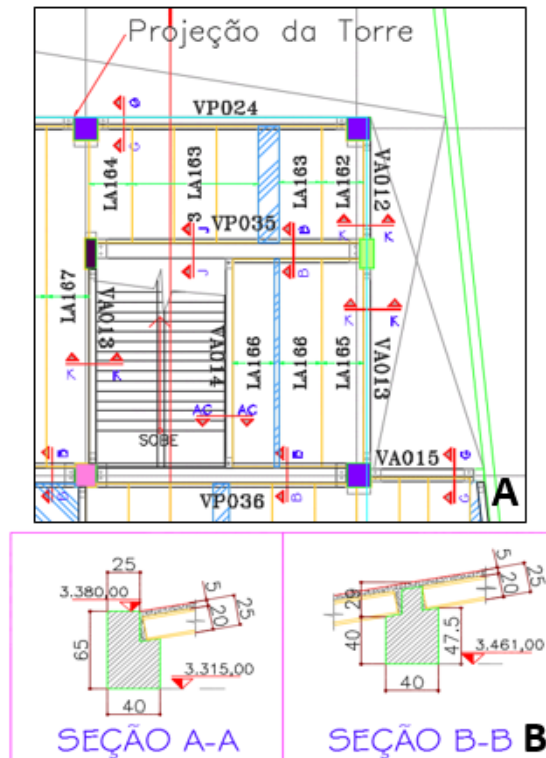


Figura 39 – Extrato do projeto detalhado em 2D

No decorrer da modelagem 3D foram identificadas necessidades de alterações no modelo para facilitar a sua utilização. Foi o caso, por exemplo, do detalhamento das lajes alveolares. Ao representar as lajes como alveolares na primeira etapa da modelagem 3D (setor 1), notou-se que o arquivo dificultava o manuseio tanto no *software* 3D como no de simulação 4D. O processamento tornou-se lento e, em alguns casos, era necessário abrir novamente o arquivo.

Dessa forma, como o detalhamento das lajes não influenciava o entendimento e utilização do modelo 4D, as mesmas foram consideradas maciças, com especificação de espessura e comprimento. Assim, o nível de desenvolvimento para modelagem das lajes foi LOD 200, considerando que a forma dos elementos lajes foi modelada de forma aproximada.

Os códigos utilizados para identificar cada componente pré-fabricado no projeto estrutural foram mantidos no modelo 3D, pois esta é uma identificação importante em todos os controles da empresa. A Figura 40 fornece um exemplo do código usado para identificar um componente em um desenho 2D (a) e os atributos relacionados aos componentes no modelo BIM 3D (b). Nesse caso, foram criadas famílias de objetos paramétricos e para cada componente do modelo 3D foi criado um ID específico.

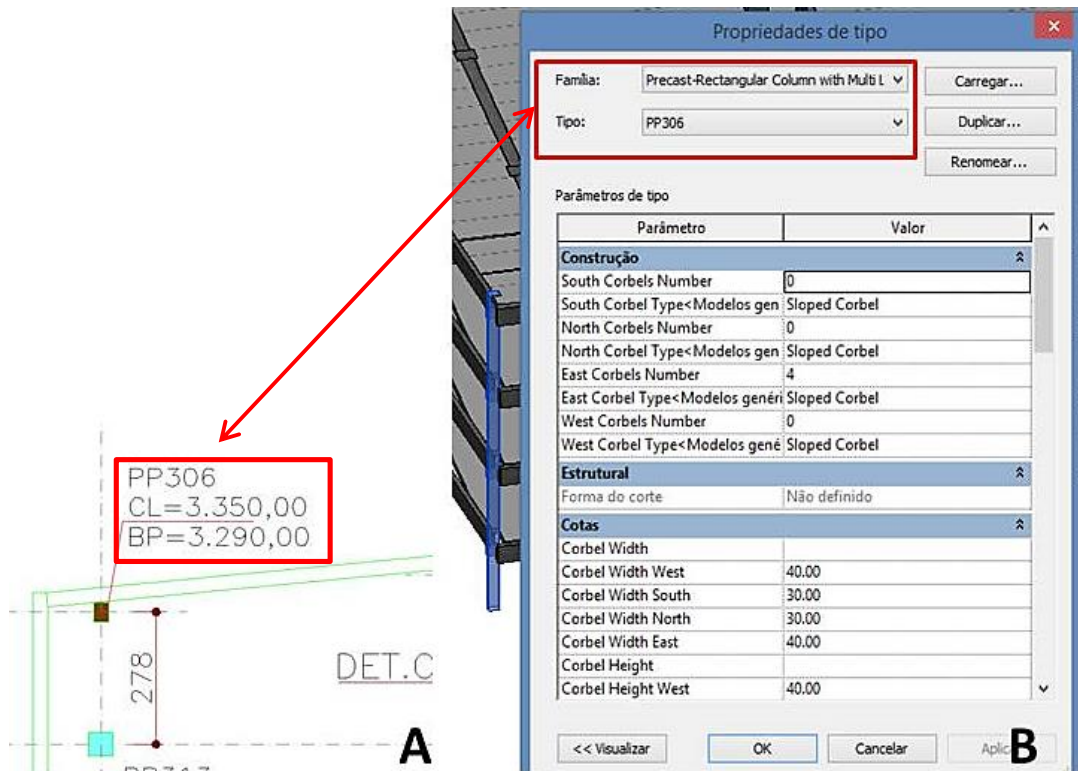


Figura 40 – Código usado para identificar cada componente do projeto 2D no modelo 3D.

Inicialmente foi gerado um modelo 4D no *software Synchro Professional*, com base no plano de montagem existente. Este plano foi utilizado apenas como ponto de partida para a criação do plano de atividades no *software* de simulação 4D, sendo adotada a escala de duração em dias para o detalhamento das atividades. Foi criado um sistema de codificação (ver Figura 41) para as atividades de montagem, que combinou a posição (eixo) do componente, o tipo de componente a ser montado (pilares, vigas ou lajes) e a identificação da fase de montagem (andar da edificação).

**Eixos    Tipo de peça**

12-13/B-C    vigas    1 → Andar

ID	Name	Duratio n	Start	Finish	3D Resources	Resources
1	ST... 1ª equipe de montagem	15d	09.00 13/01/2016	17.00 29/01/2016	(215)	
2	STO... 12-13/B-C vigas	1d	09.00 13/01/2016	17.00 13/01/2016	2	Precast-Rectangular Column with Multi Layer Corbels PP229...
3	STO... 12-13/B-C vigas 1	1d	09.00 14/01/2016	17.00 14/01/2016	2	Precast-Inverted Tee-VP210-322534_(#20953), Precast - L...
4	STO... 12-13/B-C lajes 1	1d	09.00 14/01/2016	17.00 14/01/2016	6	Laje de fundação-LA418-342672_(#24290), Laje de fundaç...
5	STO... 12-13/B-C vigas 2	1d	09.00 15/01/2016	17.00 15/01/2016	2	Precast - L Shaped Beam-VP233-410348_(#37005), Precas...
6	STO... 12-13/B-C lajes 2	1d	09.00 15/01/2016	17.00 15/01/2016	6	Laje de fundação-LA440-396061_(#33182), Laje de fundaç...

Figura 41 – Exemplo do sistema de codificação para as atividades de montagem

Os tempos das atividades de modelagem são apresentados, em resumo, na Figura 42. Como a obra foi dividida em setores, a modelagem também foi realizada de acordo estes setores.

Atividades	Duração (h)		
	SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3
Modelagem 3D do empreendimento em Revit	15	8	8
Modelagem 3D do canteiro de obras em Revit	6	4	4
Simulação 4D no Synchro (atribuição dos recursos as atividades e inserção de equipamentos)	20	16	12
<b>TOTAL</b>	41	28	24

Figura 42 – Síntese da duração das atividades de modelagem

### *Planejamento logístico do canteiro de obras*

As decisões sobre os fluxos físicos envolvidos na execução das atividades e a organização do canteiro de obras foram tomadas durante as reuniões de planejamento de curto prazo da Empresa A, com a utilização do modelo BIM 4D. Após as reuniões, o modelo BIM 4D era atualizado. As decisões tomadas eram principalmente relacionadas à definição de equipes, escolha dos equipamentos necessários, definição dos acessos e de áreas de estoques, localização das instalações provisórias, e traçado de vias de circulação de pedestres e veículos

A equipe de pesquisadores participou das reuniões de planejamento de curto prazo envolvendo representantes da empresa A e da empresa construtora da obra, realizadas no período de montagem do setor 1. Após o término da montagem do setor 1, as reuniões passaram a ser realizadas apenas com a equipe da empresa A e os pesquisadores.

A primeira reunião (10/07/2015) teve como foco os atrasos nas atividades de execução das fundações, que acabaram resultando em atrasos nas atividades de montagem da estrutura pré-fabricada. Pode-se identificar a grande interdependência entre as duas atividades, pois os pilares só poderiam ser montados se os blocos de fundação estivessem prontos e nivelados. Conforme relatos do engenheiro da empresa, o ideal seria que 50% das fundações estivessem concluídas para o início da montagem, porém nessa obra, por questões contratuais, em que foi determinada uma data fixa para a mobilização da equipe de montagem, essa condição não pode ser cumprida. Nesta etapa da obra, as equipes de execução das fundações, terraplenagem e escavações,

concretagem do muro de contenção e a empresa A, trabalhavam, concomitantemente, no canteiro. As limitações de acesso ao canteiro de obras também contribuíram para a ocorrência de atrasos da montagem.

A primeira versão do modelo 4D, com o *layout* do canteiro e a sequência de montagem planejada pela Empresa A para o setor 1, foi apresentada na segunda reunião (06/08/2015). Durante essa reunião, foi discutida a instalação da grua, que teria como principal objetivo o abastecimento da torre moldada “*in loco*”. Por meio da visualização no modelo 4D foi discutida a sequência de montagem a ser adotada, para que não fosse prejudicada no momento da instalação da grua. A partir das dimensões da grua foram previstos os componentes pré-fabricados cuja montagem tinha que ser adiada, pois estavam localizados no vão de posicionamento da grua. Para este caso, 6 lajes foram armazenadas no andar de montagem e, posteriormente à retirada da grua, a empresa construtora faria a montagem desses elementos. As Figura 43 (a) e (b) representam a simulação 4D com a previsão de instalação da grua durante a montagem do setor 1 e a Figura 43 (c) mostra a grua instalada no canteiro de obras.

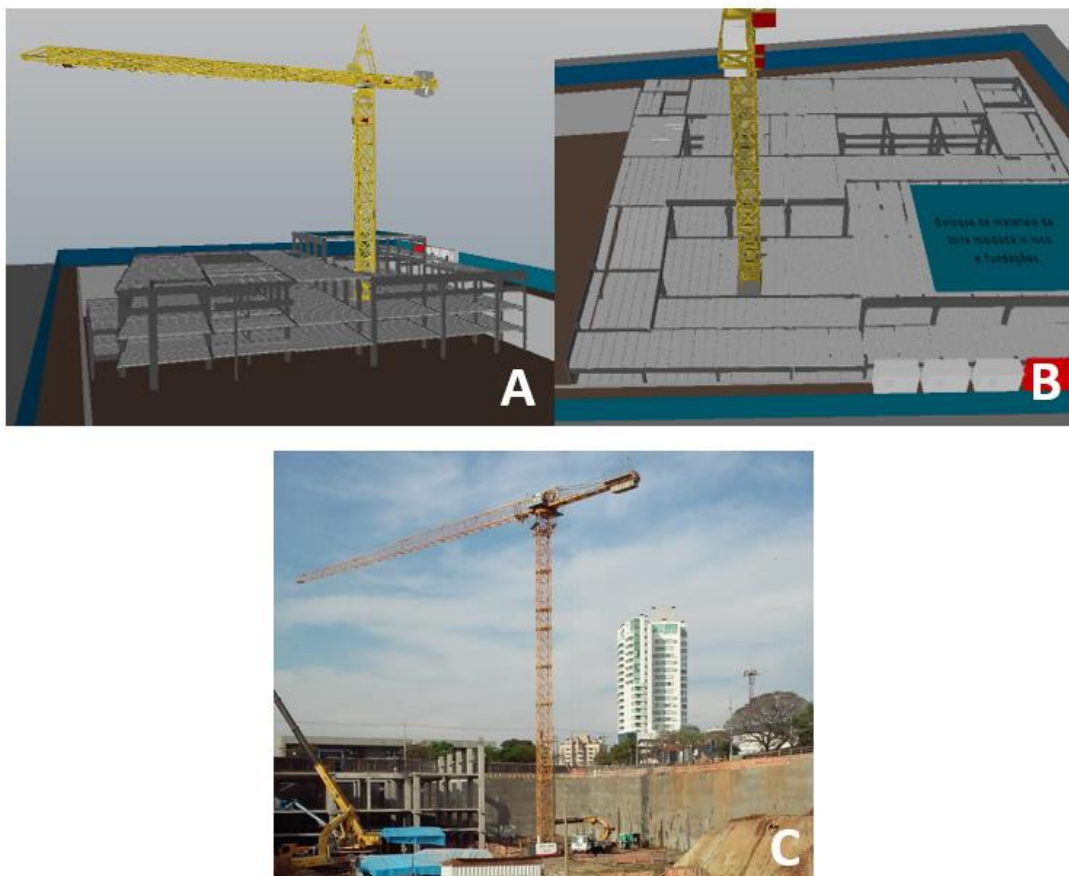


Figura 43 – Instalação da grua no canteiro de obras



Na quarta reunião (21/08/2015), a discussão principal focou-se na entrada de uma segunda equipe de montagem da Empresa A. Como a equipe da execução das fundações ainda estava trabalhando na área na data prevista, ficou acordado entre as empresas que o prazo para a liberação da frente de trabalho seria de 15 dias.

Em função do contrato entre a empresa construtora e a Empresa A, no mínimo, duas equipes de montagem deveriam sempre permanecer com atividades no canteiro de obras. Com isso, as equipes de montagem e os equipamentos utilizados pelas mesmas eram definidos em função da capacidade para atendimento aos prazos estabelecidos e pelas definições contratuais. Entretanto, restrições importantes no canteiro de obras, principalmente relacionadas a espaço, em alguns momentos, inviabilizou que fosse possível o trabalho de duas equipes diferentes ao mesmo tempo. As etapas críticas ocorreram na conclusão da estrutura devido à falta de espaço para os equipamentos principais: caminhão, guindaste e plataforma de trabalho aéreo. Dessa forma, as duas equipes utilizaram os mesmos equipamentos, em turnos distintos de trabalho.

Por meio da modelagem 4D do processo de montagem foram identificados os equipamentos necessários para a montagem por equipe e as áreas destinadas para possíveis estoques das peças. As peças foram identificadas por cores para representar os lotes definidos para cada equipe, conforme representação nas Figura 44 (a) e (b). As Figura 44 (c) e (d) ilustram o trabalho das equipes e a localização dos equipamentos no canteiro de obras.

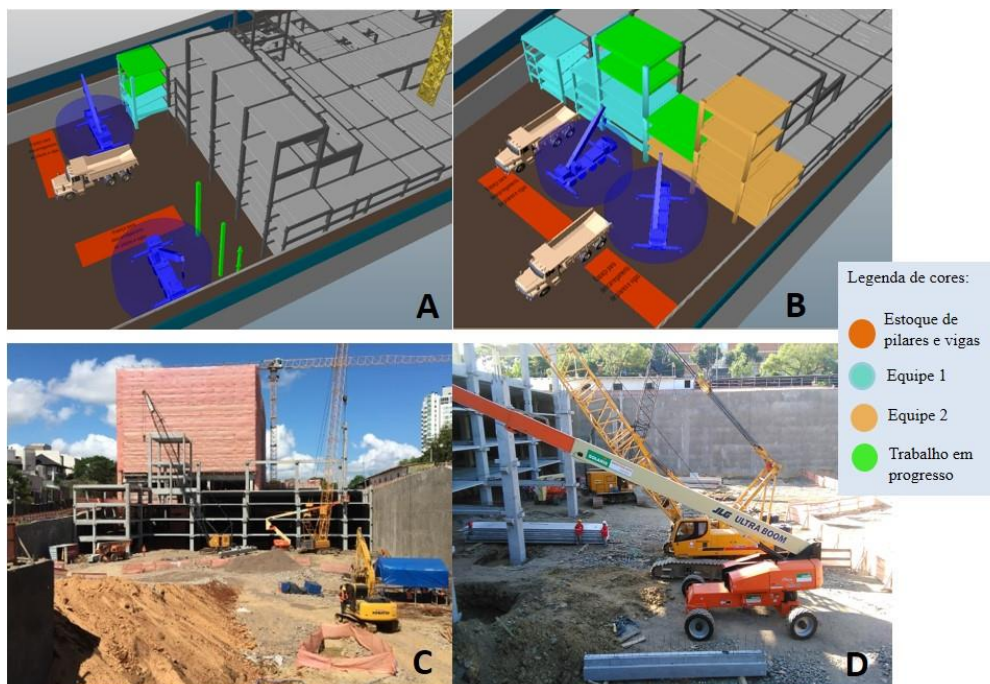


Figura 44 – Planejamento das equipes de montagem

No início da montagem do setor 1, não eram realizados controles sobre o cumprimento ou não dos pacotes de trabalho definidos para as equipes de montagem a partir do plano de curto prazo. Dessa forma, não eram identificados os motivos pelos quais os pacotes de trabalho não eram concluídos. O percentual de pacotes completos (PPC) começou a ser controlado a partir da semana 7 de montagem. A Figura 45 mostra os dados referentes ao PPC com a identificação dos pacotes de trabalhos planejados e executados relativos a montagem do Setor 1.

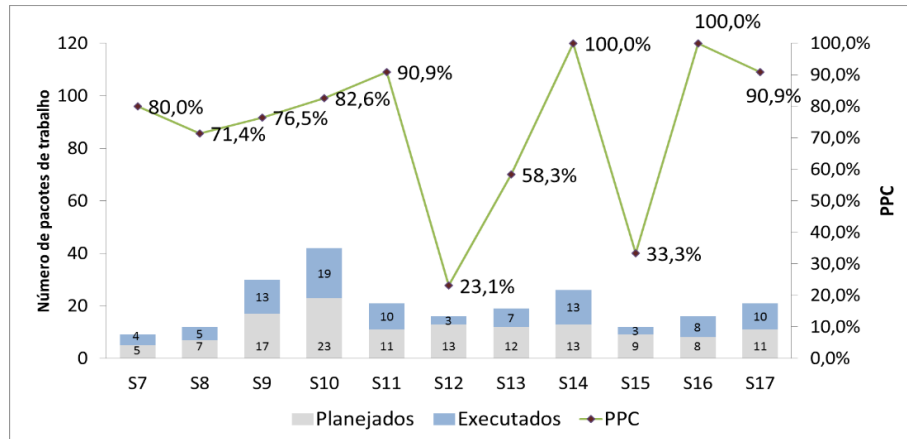


Figura 45 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 1

A Figura 46 representa a quantidade de peças totais montadas por semana de trabalho, separadas em função do tipo de peça. A produtividade média por dia, para a montagem da estrutura do setor 1, foram 18 peças por dia. As principais justificativas identificadas para o baixo valor de PPC em algumas semanas, resultando em baixa produtividade, foram as condições climáticas e atrasos na entrega de cargas solicitadas pela obra, conforme banco de dados fornecidos pela empresa.

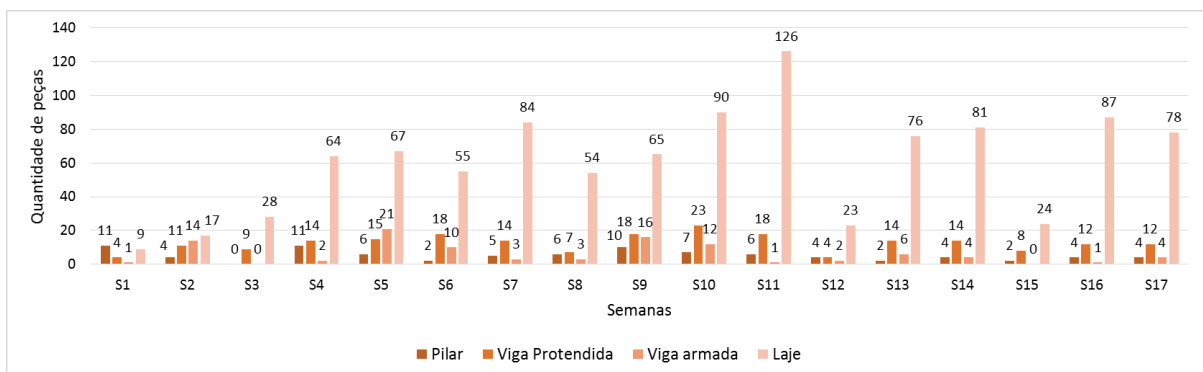


Figura 46 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 1)



### ***Análise das implementações - Workshop I***

O primeiro *workshop* (28/08/2015) foi realizado a partir da análise e entendimento da empresa A, bem como do empreendimento objeto do estudo E1, e também a primeira abordagem ao uso de BIM com a modelagem 4D. Neste *workshop* foi discutida a complexidade da obra, que estava no seu estágio inicial, e as dificuldades enfrentadas pela empresa A em atender à demanda do cliente, principalmente quanto ao plano de montagem inicial, conforme já descrito no item 5.1.1.1.

Outro ponto bastante discutido foi o atendimento à demanda das equipes de montagem pela fábrica, pela necessidade de maximização da sua capacidade, resultando em atrasos na produção de peças essenciais para a montagem em obra e produção antecipadas de peças de etapas posteriores. Dessa forma, foi discutido o conceito de produção puxada.

Durante o *workshop* foram apresentadas as principais decisões definidas nas reuniões de planejamento e controle em que a pesquisadora participou. A interdependência entre as equipes de execução das fundações e a equipe de montagem do sistema pré-fabricado foi relatada pelo Gerente de Obras como uma das principais preocupações ao andamento das atividades de montagem e diante disso, foram realizadas alterações na sequência de montagem.

#### 5.1.2.2 Segunda etapa de implementação

##### ***Planejamento e controle da logística do canteiro de obras***

Durante a montagem do setor 2 e 3 do empreendimento, as reuniões de planejamento de curto prazo deixaram de ser realizadas formalmente entre a empresa construtora e a Empresa 1. Nestas duas etapas da obra, a equipe de pesquisadores passou a realizar reuniões breves de planejamento e controle logístico com a equipe de obra da empresa A. Nesses encontros, a simulação 4D continuou sendo utilizada para apoiar a tomada de decisões.

A Figura 47 representa o canteiro de obras ao término da montagem do setor 1. São identificadas as áreas de armazenamento de materiais da torre moldada “*in loco*” (seta vermelha) e a equipe responsável pela execução das fundações (seta amarela) realizando seu trabalho na área em que deveria estar sendo realizada montagem dos componentes pré-fabricados conforme planejado.



Figura 47 – Canteiro de obras ao término da montagem do Setor 1

A Figura 48 representa o *layout* do canteiro em 3D. Foram definidas identificadas as áreas de estoque dos materiais utilizados na execução das fundações e na torre moldada *layout*, os acessos disponíveis, a rampa de acesso e as instalações provisórias. Para a montagem do setor 2 foi criado um acesso secundário para descarregamento de materiais utilizados na torre moldada *layout* e, nesse acesso, os veículos ficavam estacionados na rua lateral.

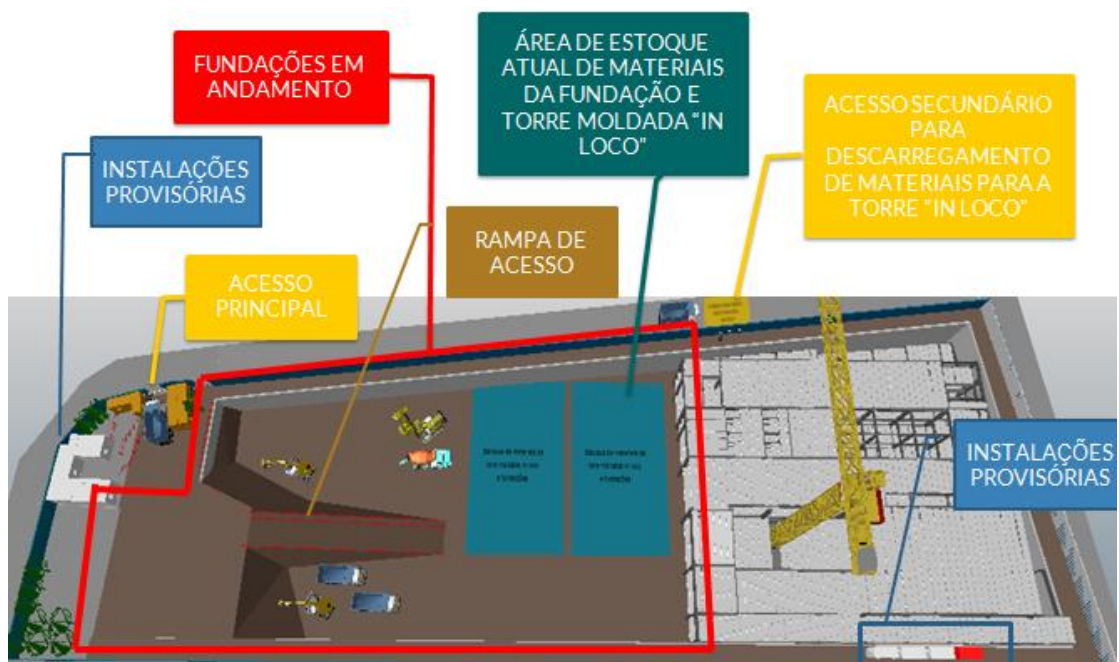


Figura 48 – *Layout* do canteiro de obras.

Decidiu-se que a área para o estoque de materiais da torre seria localizada na estrutura do setor 1, que já estava finalizada. A Figura 49 (a) identifica a nova área de estoque na simulação 4D e a Figura 49 (b) mostra a área de estoque já recebendo os materiais.

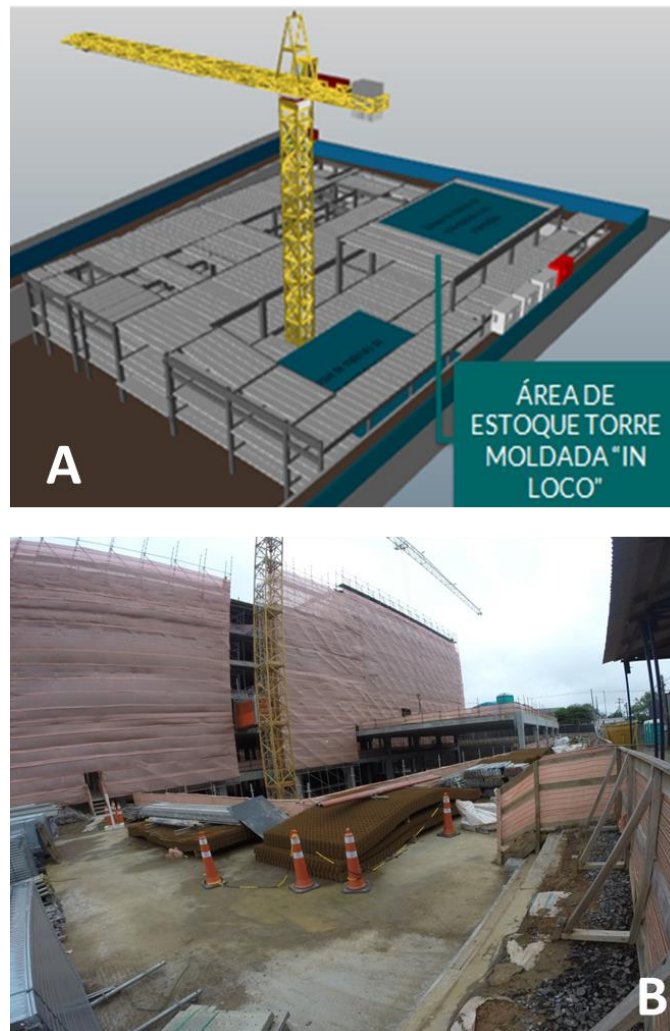


Figura 49 – Área de estoque da torre moldada *layout*

A rampa de acesso ao canteiro de obras também teve sua posição alterada ao longo do período de montagem. A Figura 50 mostra as posições da rampa na simulação 4D e fotos representando algumas destas posições. A posição 2 e a posição 3 foram definidas para que a execução das fundações no local onde estava anteriormente alocada fosse realizada. A posição 4 foi definida de forma que as peças fossem diretamente içadas da carreta e montadas, não sendo necessário o descarregamento e posterior montagem. Para o término da montagem do setor 3, a rampa foi retirada e os equipamentos de montagem que permaneceram no canteiro foram retirados por meio de içamento.





Figura 50 – Posições da rampa de acesso

Uma análise da sequência para a montagem do setor 2 foi realizada com duas alternativas propostas, a partir da visualização 4D. A primeira, na Figura 51 (a), com o início da montagem das duas equipes em um mesmo momento, porém com um prazo de conclusão distinto, sendo a finalização da equipe 2 10 dias para após a equipe 1. Na segunda opção, apresentada na Figura 51 (b), a data de início e término das equipes de montagem era coincidente. A alternativa definida foi a primeira para que a equipe 1 não ficasse ociosa enquanto outra finalizava a montagem. A necessidade de duas equipes em obra foi definida em contrato, conforme já comentado anteriormente.

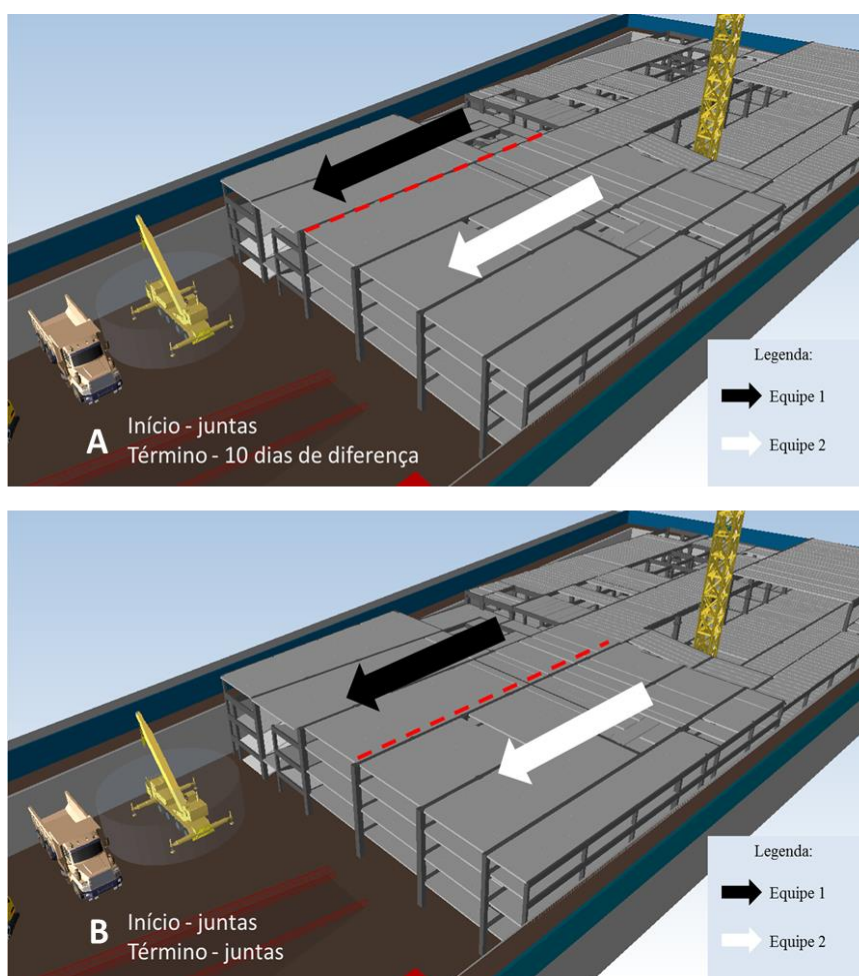


Figura 51 – Análise de viabilidade de sequência de montagem para o setor 2

Durante a montagem do setor 1 e do setor 2 do empreendimento, o processo para o planejamento das cargas foi realizado de acordo com a descrição apresentada no item 5.1.1.1, totalmente manual e sem um controle mais formal. Nesse período, houve muitos atrasos na entrega de cargas no canteiro de obras, resultando, respectivamente, em 78,49% e 95,42% das cargas totais

solicitadas não entregues na data planejada. Como tentativa de identificar os motivos de atrasos ou problemas no recebimento das cargas, durante o período de dezembro/2015 a janeiro/2016 foram rastreadas 117 cargas. Como resultado, identificou-se que em 21 cargas ocorreram alterações. A Figura 52 identifica as principais causas para as cargas que apontaram inconvenientes. “Problema na produção das peças” foi identificado como a principal causa de alterações em 11 cargas. Foram identificadas também, as causas desses problemas de produção das peças e constatou-se que atrasos na produção foram responsáveis pelas principais alterações nas cargas. A Figura 53 mostra as principais causas de problemas na produção das peças.

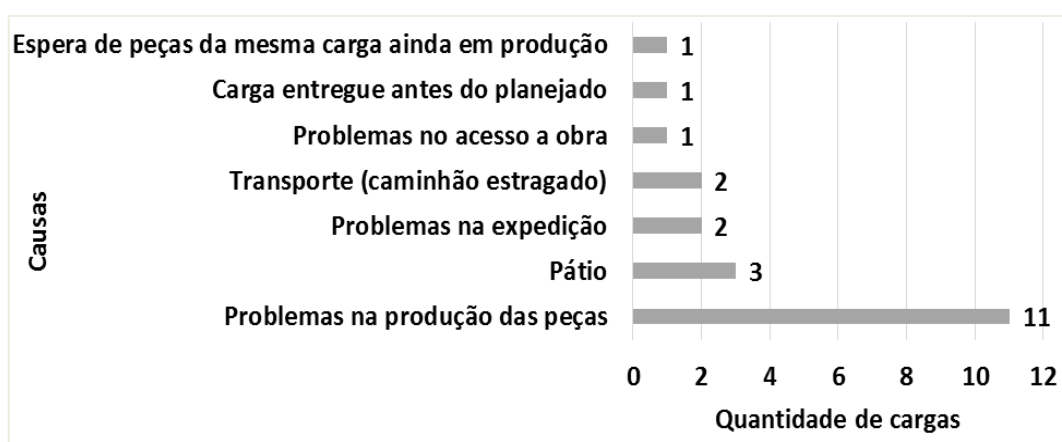


Figura 52 – Causas das alterações nas cargas programadas

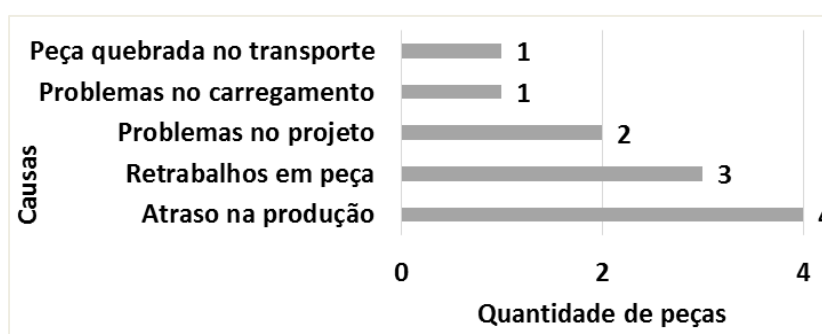


Figura 53 – Causas dos problemas nas peças

### ***Planejamento logístico dos suprimentos - Pontos de confirmação de demanda e frequência de elaboração dos planos de cargas***

A Figura 54 é uma representação esquemática da utilização do plano de cargas como ponto de confirmação para a fabricação e para a expedição dos componentes, antes e depois da realização desta pesquisa. Anteriormente à proposta de dois pontos de confirmação, conforma já descrito

no item 5.1.1.1, a empresa confirmava apenas o envio dos componentes para a obra, com 2 dias de antecedência, período em que os componentes já estavam produzidos e estocados na fábrica. Por essa restrição de tempo, frequentemente as peças contidas no lote de montagem, definido pelo gestor da obra, não eram produzidas a tempo, resultando em atrasos no processo de montagem em obra. Durante uma reunião, realizada na fábrica de Canoas/RS, com integrantes dos departamentos de PCP, expedição e engenheiros da obra, a equipe de pesquisadores sugeriu aumentar a antecedência de envio dos planos de cargas para 15 dias, com envio diretamente ao setor de PCP. Diante disso, a empresa passou a trabalhar com dois pontos de confirmação.

O primeiro ponto tinha por objetivo confirmar a demanda por produção dos componentes a partir do envio do planejamento das cargas para a fábrica, pelo gestor do canteiro com 15 dias de antecedência. Com isso, o setor de PCP era capaz de fazer uma conferência para confirmar a disponibilidade dos componentes para o período solicitado, apesar de o dimensionamento e reserva da capacidade da fábrica inicial ser baseado no plano mestre. O outro ponto de confirmação era o envio do planejamento das cargas para o departamento de expedição, com antecedência de 2 dias, que tinha como objetivo confirmar a demanda da carga, podendo esta ser acelerada ou atrasada. Essa possibilidade de realizar confirmação para o envio dos componentes permitiu a redução do estoque de componentes na obra. A estratégia dos pontos de confirmação, além de permitir uma confirmação da demanda da obra, representa uma forma de descentralizar o processo de planejamento, realizado na matriz da empresa. Com isso, informações atualizadas em ciclos mais curtos de tempo eram disponíveis e o plano de longo prazo deixa de ser a única fonte de informações para a programação da fábrica. Neste processo, o BIM 4D auxiliou na geração e atualização das informações quanto às atividades de montagem planejadas pelo gestor do canteiro, sendo essas combinadas com as informações da fabricação e utilizadas para programar as cargas necessárias para atendimento da demanda da obra.

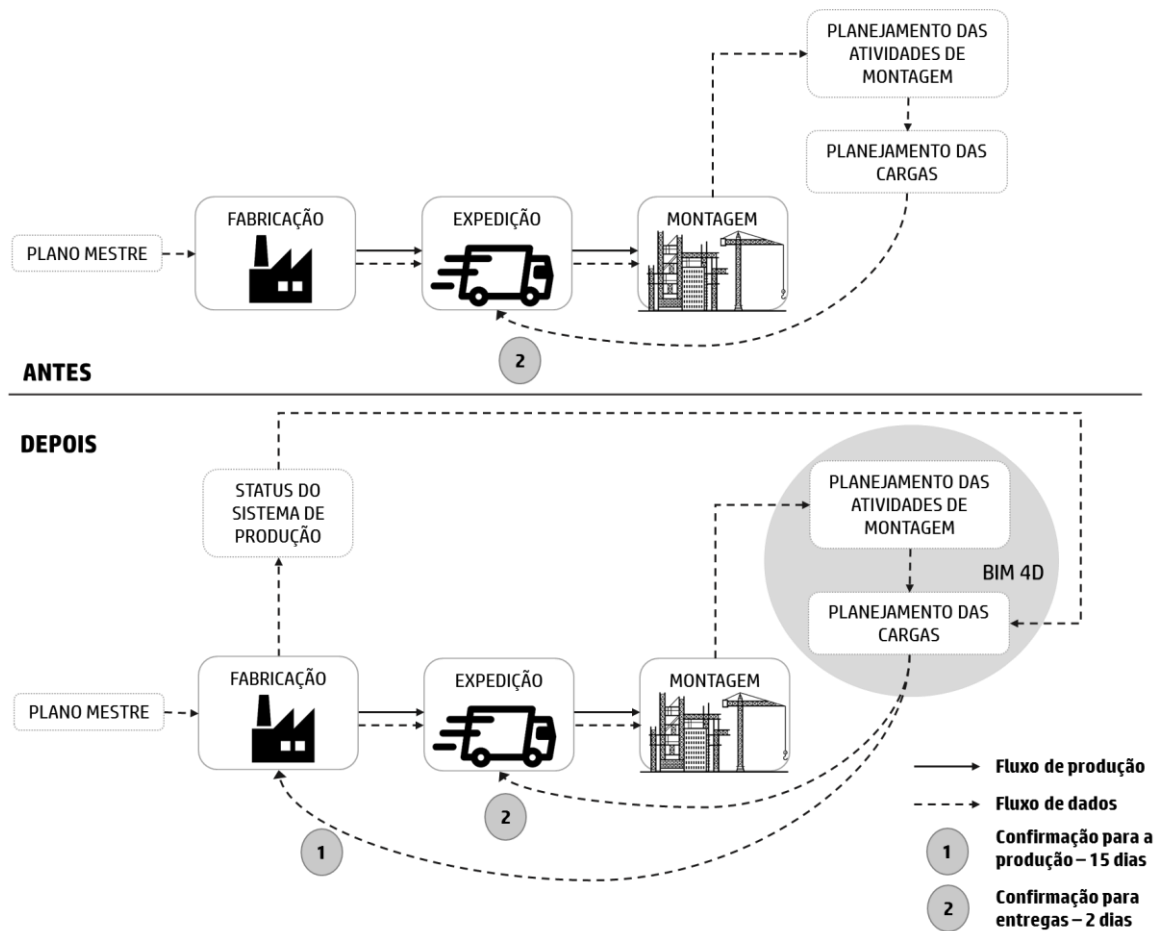


Figura 54 – Esquema da estratégia dos pontos de confirmação.

### *Análise das implementações - Workshop II*

O segundo *workshop* (23/10/2015), realizado na matriz da empresa em Curitiba, focou-se principalmente no papel estratégico do plano de cargas para integrar fábrica, expedição e montagem, contribuindo para reduzir os atrasos nas entregas das cargas, os estoques em obras, bem como produzir apenas o necessário para atender a demanda na obra. Nesta visita à matriz da empresa foram também realizadas algumas entrevistas, para avaliar os resultados alcançados.

Para o Coordenador de Projetos, os problemas de indefinições e atrasos na entrega dos projetos para a fabricação ocorreram, principalmente, pela falta de ferramentas para a realização dos mesmos, por exemplo *software* que seja interoperável, pois o processo ainda é bastante manual, por exemplo, o detalhamento da estrutura é realizado em CAD 2D e acaba prejudicando o atendimento aos prazos. Porém, percebe-se que a ineficiência da comunicação e a falta de



sistematização de alguns processos são alguns dos outros fatores que influenciaram atrasos e indefinições.

O Coordenador sugeriu também que era necessário definir pontos de confirmação para o processo de projeto, assim como entre a fábrica/expedição e montagem. Tais pontos informariam que não haveria mais alterações no projeto arquitetônico do empreendimento e o detalhamento da estrutura poderia ser realizado e enviado para a fábrica.

Na visita à fábrica, acompanhada do Coordenador do PCP, foi possível verificar alguns gargalos no processo de fabricação das peças. Os principais identificados foram a confecção das fôrmas, que ainda são de madeira para pilares e vigas armadas e a montagem das armaduras. Conforme o coordenador, as vigas e os pilares ainda são projetados com uma armadura muito densa e com muitos consolos. Uma afirmação importante feita pelo Coordenador do PCP foi sobre a prática adotada dos pontos de confirmação. A prática foi adotada para mais cinco obras diferentes e estava ajudando-os a estar cientes das demandas dos canteiros de obras, cumprindo os prazos de produção e reduzindo o tempo de estoque no pátio da fábrica.

Nesse encontro foi realizada uma avaliação do sequenciamento previsto para a montagem do setor 2 e 3. As alterações na posição da rampa de acesso ao canteiro também foram discutidas pois, resultaria em alguns problemas na montagem, tal como a necessidade de descarregar todas as cargas antes da montagem. Foi dada ênfase ao BIM 4D como uma forma de melhorar a comunicação e a colaboração na tomada de decisões, principalmente quanto ao plano de ataque da obra já que estava ficando com espaço cada vez mais restrito para movimentação dos equipamentos e recebimento das cargas. A partir das mudanças de sequenciamento e do aumento na confiabilidade das datas planejadas, as cargas eram melhor planejadas para que a montagem fosse imediata. Foi apresentada a proposta de sistematização das informações de montagem a partir da modelagem 4D cruzadas com informações da fábrica.

#### 5.1.2.3 Terceira etapa de implementação

##### ***Planejamento e controle da logística do canteiro***

Além da visualização dinâmica do modelo 4D, foi criado um painel (Figura 55), disponível no escritório da empresa na obra, para explicitar o sequenciamento de montagem de etapas da obra, com indicação da localização da montagem (por eixos definidos em projeto), período de montagem (dias), a quantidade de peças e o volume total de concreto em cada dia. Neste

exemplo é definida a sequência de montagem das duas etapas finais de montagem da estrutura, na qual a rampa de acesso já havia sido retirada e o espaço disponível para alocação dos equipamentos de montagem era a área de acesso a obra.

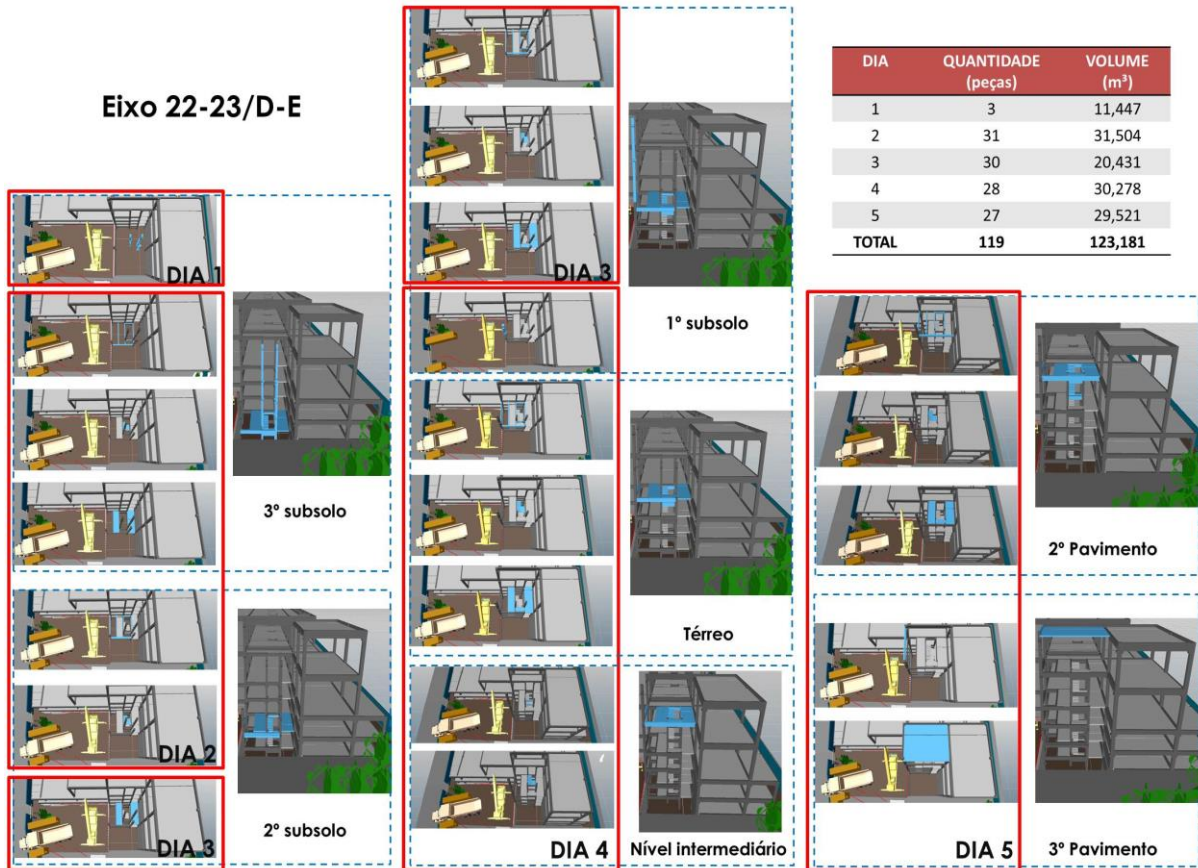


Figura 55 – Painel com o sequenciamento de montagem

No período de montagem do setor 3, as condições de acesso ao canteiro ficaram ainda mais restritas. Com a retirada da rampa de acesso (conforme posições 4 e 5 da Figura 50), as carretas que chegavam com as peças para montagem ficavam estacionadas na área de circulação. Devido a essa situação, na chegada das carretas, as peças eram imediatamente descarregadas na área do subsolo, para posterior montagem. A Figura 56 (a) e (b) mostra essa atividade sendo realizada no canteiro de obras.



Figura 56 – Atividade de descarregamento de peças no canteiro de obras

O monitoramento do processo de montagem ocorreu por meio de registros fotográficos, análise do plano de curto prazo e análise do sequenciamento. Para o caso da sequência de montagem disposta no painel de sequenciamento (ver Figura 55), foram planejados 17 pacotes de trabalho no curto prazo, sendo que desses 9 foram cumpridos na data planejada e 4 replanejados. Quando analisada a ordem especificada para a montagem, 2 pacotes de trabalho foram montados fora da sequência, cumprindo 88% da sequência previamente estabelecida. As Figura 57 (a) e (c) representam as imagens da simulação e as Figura 57 (b) e (d) representam os registros das atividades sendo realizadas no canteiro de obras.

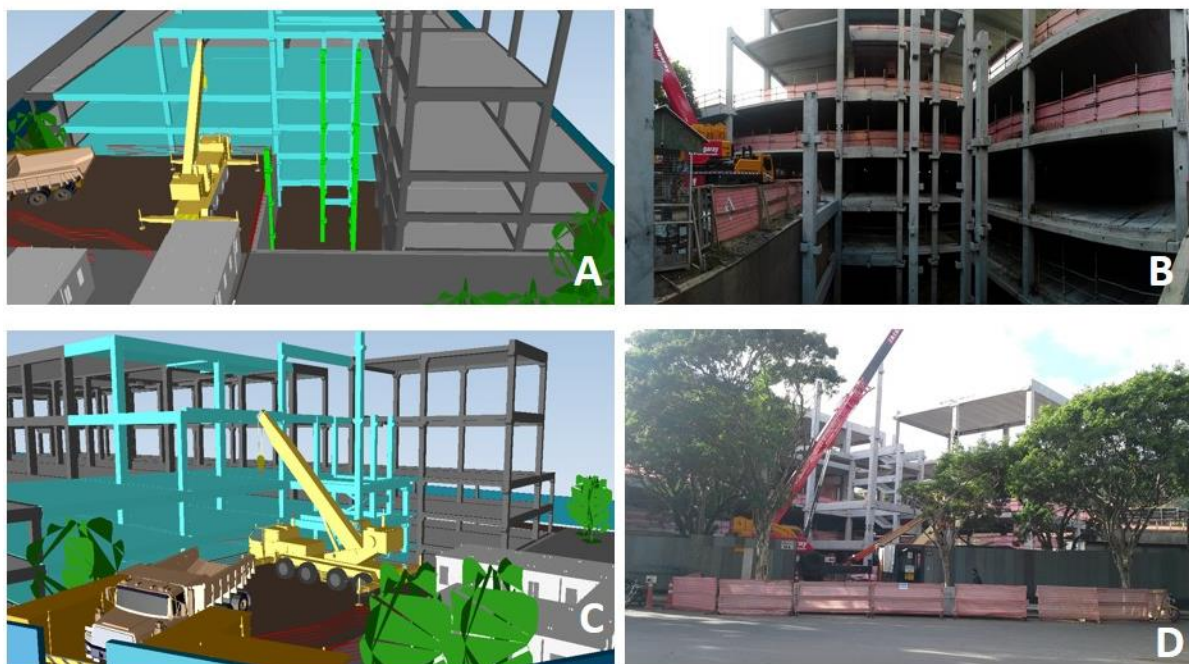


Figura 57 – Comparação entre o plano (A, C) e a execução (B, D)

### *Planejamento logístico dos suprimentos*

Uma importante mudança no processo de planejamento das cargas foi a introdução da modelagem BIM 4D como suporte a tomada de decisão na definição das operações de carregamento que precisavam ser realizadas, considerando as prioridades estabelecidas nos planos de longo prazo, estoques existentes na fábrica e as restrições do canteiro de obras. Isso foi possível, pois o modelo BIM 4D contém informações necessárias sobre os componentes pré-fabricados, principalmente informações semânticas e topológicas de cada elemento do modelo. Além disso, contém também informações sobre o canteiro de obras, como acessos, possíveis áreas de descarregamento e estoques, circulação de veículos e instalações provisórias. Esta decisão foi tomada pois a montagem do setor 3 tinha um maior número de cargas em função do maior número total de peças, e também pelo fato de que era muito importante a conclusão da montagem no prazo estabelecido.

O desenvolvimento da planilha envolveu ciclos de implementação, coleta de dados e análise, em um período de 3 meses, coincidindo com a montagem do setor 3 do empreendimento. A retroalimentação propiciada pela equipe de obra, responsável pelo planejamento das cargas, contribuíram para as melhorias no processo.



A Figura 58 representa a interface do *software* de modelagem 4D, que mostra o gráfico de *Gantt* com as atividades a serem executadas e o modelo 3D, que, ao ser importado, mantém informações geométricas, semânticas e topológicas de cada objeto do modelo. Em uma mesma atividade, a sequência de atribuição dos elementos 3D a essa atividade correspondia à ordem estabelecida para a montagem das peças.

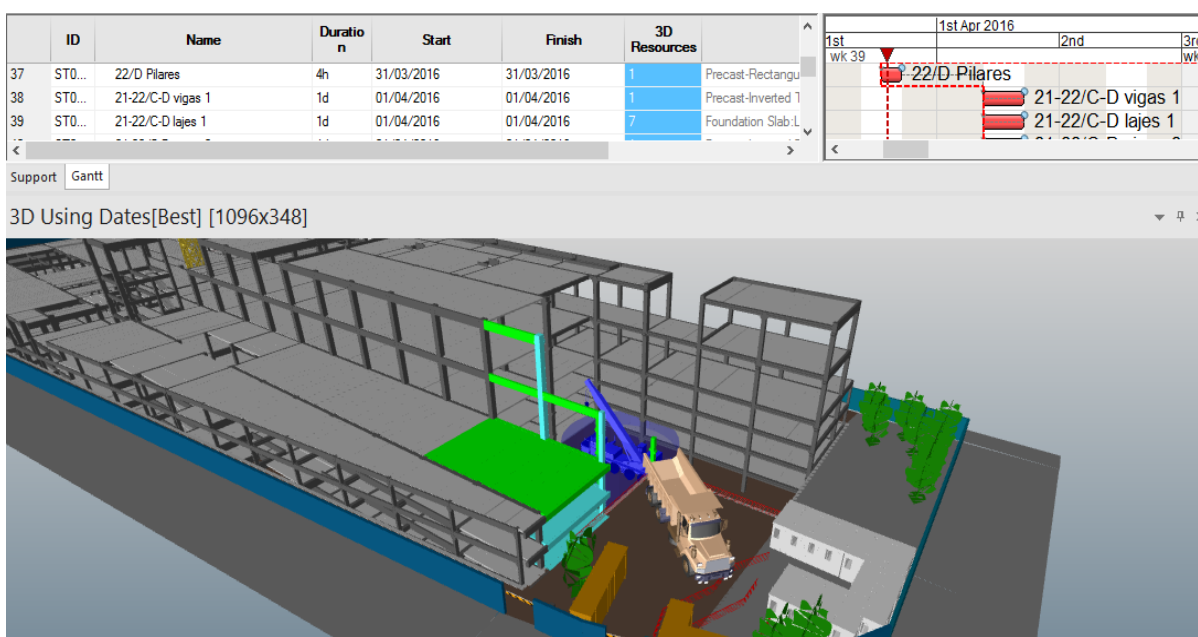


Figura 58 – Interface do *software* Synchro para a simulação BIM 4D

Foi definido como primeiro passo para a elaboração dos pedidos de componentes por parte do gestor da obra a organização dos elementos presentes em cada quadrante de localização do projeto. A Figura 59 apresenta uma planilha exportada do Synchro PRO para o *Microsoft Excel*, contendo todos os componentes (representados na coluna *Resources*), em cada um dos eixos da edificação (representada na coluna *Name*). Cada linha representa um tipo de produto em um quadrante do projeto. Após a exportação, são extraídos os dados de cada um dos componentes para a elaboração dos planos de carga.

ID	Name	Duration	Start	Finish	Resources
ST00020	21/C Pilares	1d	28/03/2016 09:00	28/03/2016 17:00	Precast-Rectangular Column with Multi Layer Corbels:PP319:7182
ST00030	20-21/B-C vigas 1	1d	29/03/2016 09:00	29/03/2016 17:00	Precast-Inverted Tee:VP709:793823_ (#96540)
ST00035	20-21/B-C lajes 1	1d	29/03/2016 09:00	29/03/2016 17:00	Foundation Slab:LA767:794500_ (#98285), Foundation Slab:LA774
ST00040	20-21/B-C vigas 2	1d	29/03/2016 09:00	29/03/2016 17:00	Precast-Inverted Tee:VP706:762898_ (#78078)

Figura 59 – Planilha com lista de atividades e recursos atribuídos



da denominação especificada. Diante disso, as atividades na simulação 4D que correspondiam a montagem dos pilares com emenda eram nomeadas “Pilar A 3”.



Figura 61 – Dados de localização: eixo e pavimento

Selecionando os dados de localização, são disponibilizados os dados referentes à produção e montagem das peças que pertencem à localização especificada (Figura 62).

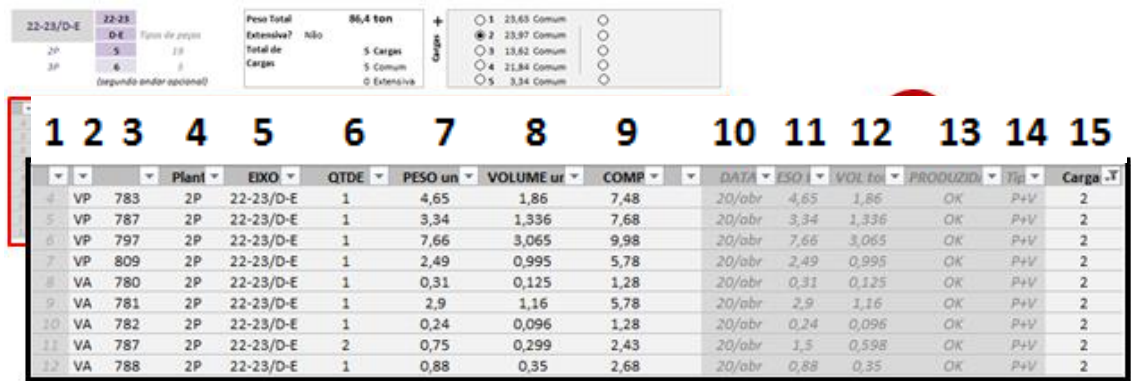


Figura 62 – Dados referentes à produção e montagem das peças pré-fabricadas

O comprimento é uma característica relevante na elaboração do plano de cargas. As peças com comprimento maior de 12 metros compõem uma carga especial, denominada carga extensiva. A carga extensiva tem restrições quanto ao horário de transporte e, por isso, essa informação precisou ser destacada. Na planilha, a regra criada indica que todas as linhas correspondentes a peças com comprimento superior a 12 metros sinalizam a cor laranja (Figura 63).

22-23/D-E		22-23		D-E Tipos de peças		Peso Total <b>74,32 ton</b>		+ Cargas		<input type="radio"/> 1 21,11 Extensiva <input type="radio"/> 2 12,28 Comum <input type="radio"/> 3 21,63 Comum <input type="radio"/> 4 8,35 Comum <input checked="" type="radio"/> 5 10,95 Comum	
L	0	2			Extensiva? Sim		Total de 5 Cargas				
T	4	20			Cargas 4 Comum		1 Extensiva				
		(segundo andar opcional)									

		Plant	EIXO	QTDE	PESO un	VOLUME ur	COMP	DATA	ESO	VOL toj	PRODUZID	Tip	Carga	
1	PP	331	L	22-23/D-E	1	10,4	4,161	19,13	18/abr	10,4	4,161	OK	P+V	1
2	PP	333	L	22-23/D-E	1	10,71	4,285	19,13	18/abr	10,71	4,285	OK	P+V	1
1	EC	014	T	22-23/D-E	1	6,14	2,456	5,93	19/abr	6,14	2,456	OK	EC	2
2	EC	015	T	22-23/D-E	1	6,14	2,454	5,93	19/abr	6,14	2,454	OK	EC	2
3	VP	711	T	22-23/D-E	2	4,5	1,801	7,32	19/abr	9	3,602	OK	P+V	3

Figura 63 – Identificação de carga extensiva

O status de produção das peças também foi uma informação salientada na planilha. A coluna 13 indica o status de produção da peça. A regra estabelecida sugere que, quando a peça não está produzida, a cor do texto da linha da peça altera-se para vermelho (Figura 64).

22-23/D-E		22-23		D-E Tipos de peças		Peso Total <b>74,32 ton</b>		+ Cargas		<input type="radio"/> 1 21,11 Extensiva <input type="radio"/> 2 12,28 Comum <input type="radio"/> 3 21,63 Comum	
L	0	2			Extensiva? Sim		Total de 5 Cargas				

		Plant	EIXO	QTDE	PESO un	VOLUME ur	COMP	DATA	ESO	VOL toj	PRODUZID	Tip	Carga	
1	PP	331	L	22-23/D-E	1	10,4	4,161	19,13	18/abr	10,4	4,161	OK	P+V	1
2	PP	333	L	22-23/D-E	1	10,71	4,285	19,13	18/abr	10,71	4,285	OK	P+V	1
1	EC	014	T	22-23/D-E	1	6,14	2,456	5,93	19/abr	6,14	2,456	OK	EC	2
2	EC	015	T	22-23/D-E	1	6,14	2,454	5,93	19/abr	6,14	2,454	OK	EC	2
3	VP	711	T	22-23/D-E	2	4,5	1,801	7,32	19/abr	9	3,602	OK	P+V	3
4	VP	733	T	22-23/D-E	1	4,53	1,812	7,13	19/abr	4,53	1,812	NÃO	P+V	3
5	VP	762	T	22-23/D-E	1	3,57	1,429	7,48	19/abr	3,57	1,429	OK	P+V	3

Figura 64 – Identificação de peça não produzida

Para a composição das cargas, os pilares e as vigas poderiam compor uma mesma carga. As demais peças, lajes e escadas, somente poderiam ser transportadas com peças de mesmo tipo. A coluna 14, identificada na Figura 62, representa o tipo de carga, que poderiam ser: pilar (PP), viga (VA; VP), pilar e viga (V+P), laje (LA) e escada (EC).

Com todas as informações disponíveis sobre as peças, inicia-se a divisão das cargas. A lógica da coluna 15, identificada na Figura 62, é analisar o tipo de carga da célula anterior para realizar a composição da carga e verificar o somatório dos pesos das células anteriores para que não ultrapasse o peso máximo de transporte de 25 toneladas. A Figura 65 indica os dados referentes às cargas que foram criadas.



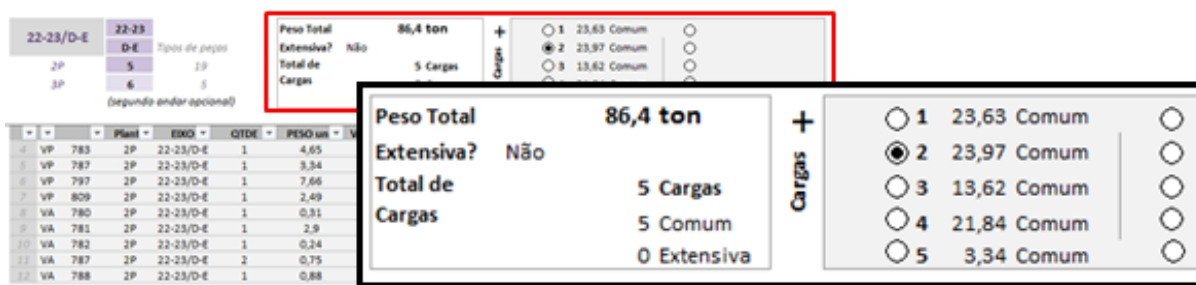


Figura 65 – Dados referentes às cargas planejadas

Os planos de carga foram produzidos a cada 15 dias, geralmente toda a quinta-feira, contendo aproximadamente 45 cargas, sendo cada carga dividida em aproximadamente oito componentes. Estes planos eram enviados ao departamento de planejamento e controle com 15 dias de antecedência para confirmar a produção de componentes e ao departamento de expedição com 2 dias de antecedência para confirmar a demanda de montagem do canteiro. De acordo com o gerente do canteiro, o tempo gasto para preparar um plano de carga era de três horas.

Depois de usar a ferramenta, o Gestor do canteiro relatou uma redução de 33% no tempo gasto no planejamento das cargas, principalmente devido à eliminação de atividades que não agregam valor, tais como o manuseio de projetos impressos, a geração manual da lista de componentes e a comparação cruzada de informações da lista de componentes e do relatório de *status* dos componentes. De certa forma, esta ferramenta também contribuiu para a organização das informações pelo gestor do canteiro, de modo que todas as informações necessárias para planejar as cargas estavam em um mesmo arquivo.

### ***Análise das implementações – Workshop III***

No terceiro *workshop* (19/01/2016) foi apresentada uma versão inicial do processo para planejamento das cargas e uma discussão das informações necessárias no modelo 3D e 4D para que pudesse ser utilizado no processo. Pelo fato da pesquisadora ter modelado, a criação de uma biblioteca de objetos 3D estaria disponível para que os projetistas da empresa pudessem usufruir.

De acordo com o Coordenador de projetos, já estava sendo testado um *software* para o detalhamento da estrutura, interoperável com outro *software* BIM. Dessa forma, seria

necessário estabelecer um padrão de código para identificar cada componente do projeto e esse mesmo código utilizado para cadastrar esses componentes no sistema da empresa.

### *Análise das implementações posteriores ao Workshop III*

Os registros referentes ao PPC e pacotes de trabalho planejados e executados no período de montagem do setor 2 são apresentados na Figura 66. Pode-se observar a existência de uma diferença no número de pacotes planejados nas semanas S28, S29 comparado às semanas anteriores. O aumento no número de pacotes planejados ocorreu devido à necessidade de melhorar o detalhamento no plano de curto prazo para que o planejamento de cargas pudesse ser integrado a este processo.

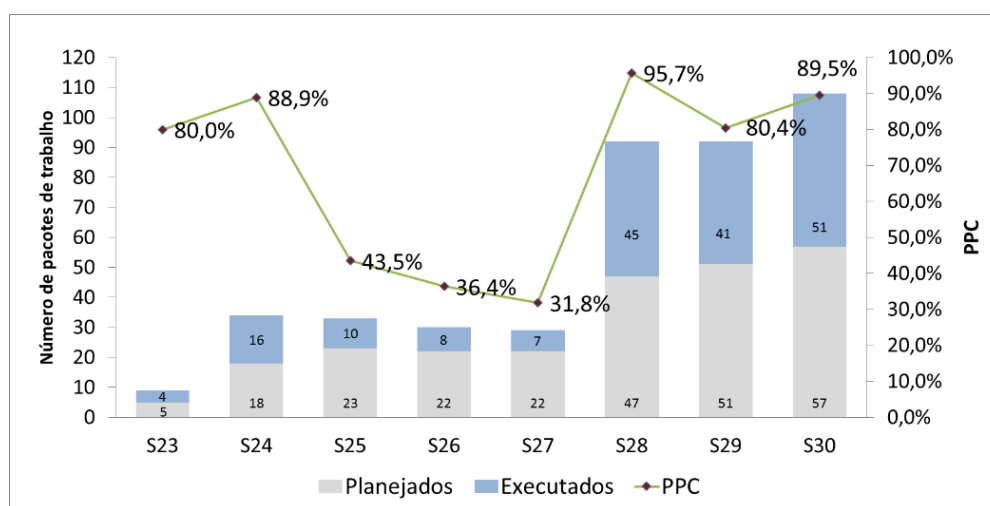


Figura 66 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 2

A Figura 67 representa a quantidade de peças totais montadas por semana de trabalho, separadas em função da tipologia da peça. A produtividade média por dia, para a montagem da estrutura do setor 2, foram 26 peças/dia. Para as semanas S25, S26 e S27 as produtividades médias resultaram em 19,5 peças/dia, 17,3 peças/dia e 43,7 peças/dia, respectivamente. Nas semanas S25 e S26, em que a produtividade média e o PPC foram baixos, sendo as principais causas da não conclusão dos pacotes as condições climáticas, equipamento estragado e atrasos na produção pela fábrica. Embora na S27 a produtividade tenha sido 68% superior à produtividade média geral do setor 2, o PPC foi baixo, indicando uma baixa eficácia no planejamento da montagem das peças. A justificativa para o resultado foram os atrasos na produção das peças pela fábrica e retrabalhos em peças que já haviam sido entregues.

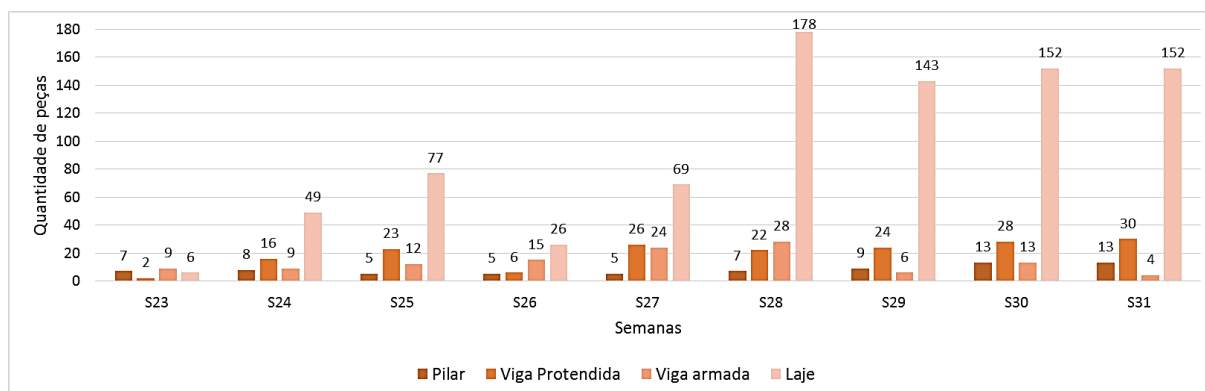


Figura 67 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 2)

Para o setor 3, os dados de PPC e pacotes de trabalho planejados e executados são representados na Figura 68. Nesse período, nenhum PPC foi inferior a 50% e a produtividade média foram 39 peças/dia, bastante superior à média de montagem dos setores 1 e 2, que foram 18 e 26 peças/dia, respectivamente.

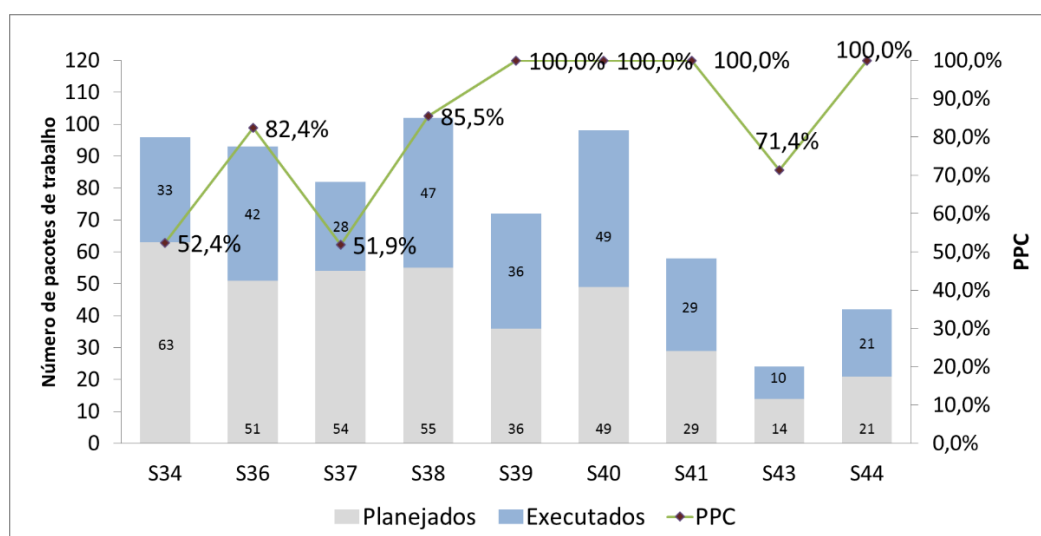


Figura 68 – Pacotes de trabalho planejados x executados com identificação do PPC referente ao Setor 3

Durante a montagem do setor 3, foi realizada uma coleta dos tempos de montagem. Com isso, foram identificados os tempos de ciclo para a montagem das peças principais da estrutura: pilar, viga e laje. A Figura 69 mostra o maior e o menor tempo de ciclo registrado. O principal motivo identificado para a variação entre os tempos foram alguns retrabalhos necessários nas peças que seriam montadas.

Peças	Pilar	Viga	Laje
<b>Maior tempo registrado (minutos)</b>	47	14	17
<b>Menor tempo registrado (minutos)</b>	22	6	2

Figura 69 – Tempos de ciclo

Na Figura 70 são apresentadas as quantidades de peças montadas para cada uma das semanas de trabalho. Atenta-se para um considerável aumento no número de lajes montadas, o que acaba justificando o aumento da produtividade média.

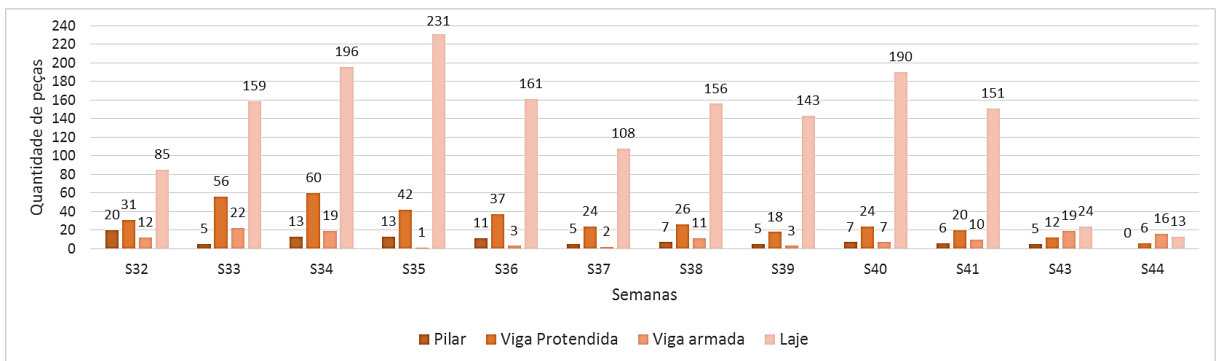


Figura 70 – Quantidade de peças montadas por semana separadas por tipologia da peça (Setor 3)

Na Figura 71 são apresentados os resultados obtidos em relação à eficácia na entrega de cargas e a produtividade para cada etapa do processo de montagem. A maximização da utilização da capacidade era um dos objetivos principais do PCP na fábrica. Esta prática de definir a sequência de produção considerando somente as necessidades da fábrica, influenciava o sequenciamento de montagem das peças no canteiro de obras, resultando no baixo atendimento à demanda da obra, representado na Figura 71 pelo total de cargas entregues no setor 1 e 2.

Ao analisar a Figura 71, nota-se um aumento na quantidade de cargas planejadas para o setor 3, comparado aos anteriores, bem como o aumento da produtividade das equipes. As melhorias no processo de planejamento das cargas bem como o uso dos pontos de confirmação influenciaram a troca de informações entre a fábrica e a obra. O atendimento aos prazos de entrega pela fábrica, que atendeu 95% das solicitações da obra, resultou no cumprimento dos prazos das atividades de montagem no canteiro. Confirmando a afirmação feita por Čuš-babič *et al.* (2014), que garantem que a transparência entre os trabalhos de construção e os processos

de fabricação torna o planejamento de curto prazo mais preciso, acarretando em um processo de construção mais curto, com atrasos reduzidos e menor demanda por estoques de materiais.

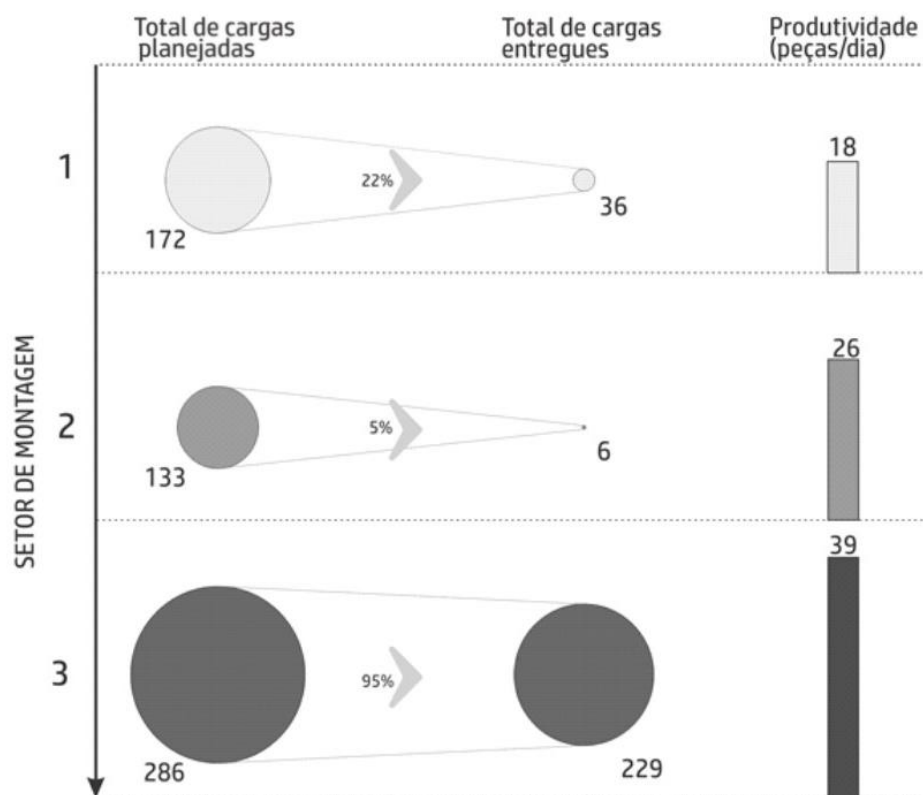


Figura 71 – Síntese referente ao planejamento das cargas por setor de montagem

### 5.1.3 Contribuições ao desenvolvimento do modelo final

Em algumas decisões de logística do canteiro, durante as reuniões de planejamento e controle, a simulação colaborou como uma ferramenta de comunicação e visualização útil aos gestores das empresas a fim de auxiliar no entendimento e na tomada de decisões nas fases de planejamento. Com a simulação BIM 4D do *layout* do canteiro de obras foi possível entender os espaços físicos do canteiro. Pelo processo iterativo da simulação 4D, todas informações geradas, visualizadas, analisadas e alteradas contribuíram para a proposição de melhorias nos processos logísticos. Para Wang *et al.* (2014), o principal mérito dos modelos 4D são os aprimoramentos visuais que eles fornecem.

Como mencionado, o modelo proposto por Bortolini (2015) foi adotado como ponto de partida para o desenvolvimento da pesquisa. Embora tal modelo não tenha sido formalmente aplicado durante o estudo empírico, alguns de seus elementos foram relevantes para o presente trabalho.

A referida autora propôs uma sequência de atividades relacionadas ao planejamento logístico do canteiro de obras no nível de macro *layout*, que, apesar das diferenças entre os sistemas metálicos e de concreto, principalmente em função do tamanho dos componentes e da pré-montagem necessária ao componente da estrutura metálica antes do içamento, essas atividades são semelhantes para ambos os contextos. As principais atividades definidas, a partir do desenvolvimento do modelo 4D, foram: definir a estratégia de ataque e analisar conflitos, definir forma de abastecimento, escolher equipamentos, definir acessos, definir vias de veículos e pedestres, definir o posicionamento dos estoques e instalações e dimensionar espaços para a realização das atividades.

Neste trabalho, a intenção da pesquisadora foi que o modelo 4D pudesse ser utilizado tanto para o planejamento logístico do canteiro de obras como para o planejamento logístico dos suprimentos, com foco no planejamento das cargas. Dessa forma, foi necessário pensar no nível de desenvolvimento desse modelo para ambas as aplicações. Com isso, o LOD 300 foi definido como o ideal para o desenvolvimento do modelo.

A segunda parte do modelo proposto por Bortolini (2015) ressalta o planejamento de processos críticos de montagem. Diferentemente disso, o presente trabalho, faz uma análise voltada ao planejamento dos suprimentos a partir do planejamento das cargas necessárias para abastecer a obra. A abordagem desenvolvida enfatizou a atuação do gestor do canteiro na realização do planejamento das cargas a partir da utilização das informações da simulação BIM 4D para tomadas de decisões quanto ao planejamento dessas cargas que seriam solicitadas. Essa abordagem difere da realizada por Trevisan (2016), que explorou este tópico a partir de uma abordagem operacional, muito focada na montagem das cargas na fábrica.

A utilização da simulação BIM 4D para apoio a tomada de decisão no planejamento das cargas foi facilitada pela capacidade de rápidas alterações nos planos de ataque e a troca de informações com a planilha que foi elaborada, além de melhorias na visualização dos processos devido à disponibilidade de informações dos componentes, principalmente localização e cronológica. Apesar de a empresa não utilizar a modelagem BIM para a elaboração de todos os seus projetos, alguns clientes já demandam o uso da tecnologia. A partir deste estudo, observou-se que a ampla utilização de projetos em BIM facilitaria tanto o processo de projeto, como o de logística em obra.

Dessa forma, o BIM 4D não seria importante somente a fim de visualização, mas também pela permissão de trocas de informações relevantes para ambos os departamentos que se beneficiam com essa abordagem (fábrica/expedição/montagem). Com isso, surge também a padronização das informações do modelo BIM e dos planos de atividades utilizados pela empresa (plano de montagem inicial e curto prazo).

De fato, sistemas de produção ETO requerem ciclos curtos de aprendizagem, tornando os mesmos mais adaptáveis às mudanças (JOHNSTON; BRENNAN, 1996). Neste sentido, a criação de mecanismos para a produção puxada permite a criação de um sistema de planejamento e controle que responde às constantes mudanças deste ambiente. Produção puxada, neste contexto, tem um significado mais amplo: considerar o status do sistema antes de iniciar a produção, de forma a avaliar e limitar a quantidade de trabalho em progresso existente (HOPP; SPEARMAN, 2000). Para isso é necessário que se estabeleçam diferentes níveis de planejamento, e que as informações sejam gradualmente detalhadas a partir de dados obtidos sobre o status do sistema, de forma similar ao que é realizado no Sistema Last Planner (BALLARD; HOWELL, 1998b).

Hopp e Spearman (2004) salientam que a simples limitação do trabalho em progresso não é condição suficiente para melhorar o sistema, e que deve haver um esforço continuado para que este nível seja continuamente reduzido. Os mesmos autores apontam que esta prática está relacionada ao esforço de redução do tamanho do lote, principalmente no que se refere ao lote de transferência entre diferentes equipes. A redução do tamanho do lote contribui para a redução do tempo de ciclo das atividades e permite que as equipes se beneficiem da aprendizagem que obtiveram na produção do lote anterior (KOSKELA, 1992).

Infelizmente, a empresa A ainda não tinha o SLP totalmente implementado. A implementação do sistema *Last Planner* poderia contribuir para a redução do risco de alterações no tempo e sequência de montagem. Assim, reduzir a variabilidade da demanda e os prazos de fabricação deve ocorrer junto e exigir colaboração mínima entre projeto e engenharia, fabricação e montagem. (BALLARD; ARBULU, 2004). A partir de planos bem definidos, em longo, médio e curto prazo, não existiriam consequências como a definição de grandes lotes, tanto de produção como de montagem e as incompatibilidades entre os prazos prometidos ao cliente e os prazos reais, principalmente por não considerar todas aquelas atividades que geraram tempos improdutivos.

## 5.2 ESTUDO EMPÍRICO E2

### 5.2.1 Descrição do Empreendimento E2

A Empresa B era encarregada do planejamento e controle da obra no Empreendimento E2. Existia um plano de longo prazo do empreendimento, elaborado no *software MSProject®* (Figura 72) pela engenheira de planejamento da empresa B. Existia também um planejamento de curto prazo, de frequência semanal, realizado por meio de reuniões semanais envolvendo os subempreiteiros da obra. Essas reuniões eram coordenadas pela engenheira de planejamento da empresa B e tinham como principal objetivo discutir as atividades realizadas na semana e coordenar as atividades entre estes subempreiteiros, de forma a definir um plano semanal. Esse plano semanal era pouco detalhado, não sendo especificados em detalhe os pacotes de trabalho. Não era monitorado o PPC da obra, nem havia um esforço específico no sentido de gerenciar o comprometimento das equipes, tal qual existe no sistema *Last Planner*. Não havia planejamento em nível de médio prazo, com a identificação e remoção sistemática de restrições.

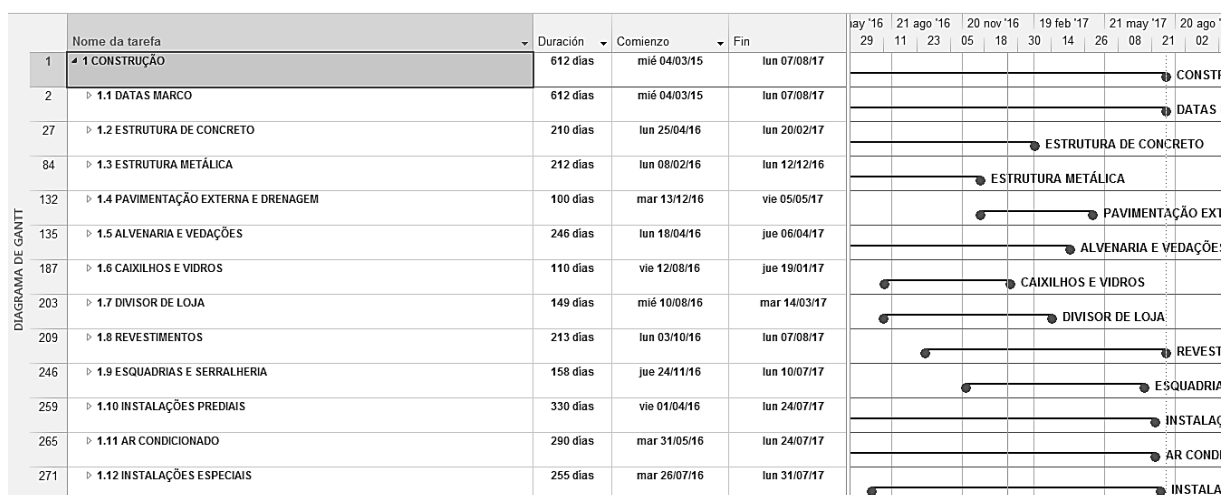


Figura 72 – Extrato do plano de longo prazo

Para as discussões nas reuniões de planejamento e controle, os projetos 2D impressos eram dispostos de maneira que todos os participantes pudessem ter visibilidade para identificar a área que já havia executado as atividades demandadas.

As atividades de montagem da estrutura pré-fabricada e capeamento, sob responsabilidade da empresa C, tinham muitas interdependências com as demais atividades, entre elas montagem estrutura metálica da cobertura, instalações hidrossanitárias e elétricas e montagem dos painéis



de fachada. Os atrasos e falta de terminalidade nas atividades de montagem da estrutura de concreto foram as principais causas de atrasos nas atividades dos outros intervenientes.

Com relação ao *layout* do canteiro de obras, este foi definido no início do empreendimento por meio de desenhos 2D, conforme a Figura 73 esquemática. Embora todo o projeto arquitetônico e estrutural do empreendimento tenha sido modelado em 3D pela equipe de arquitetura da empresa B, o modelo 3D foi utilizado apenas para a compatibilização entre projetos, principalmente entre os projetos arquitetônicos e de instalações.

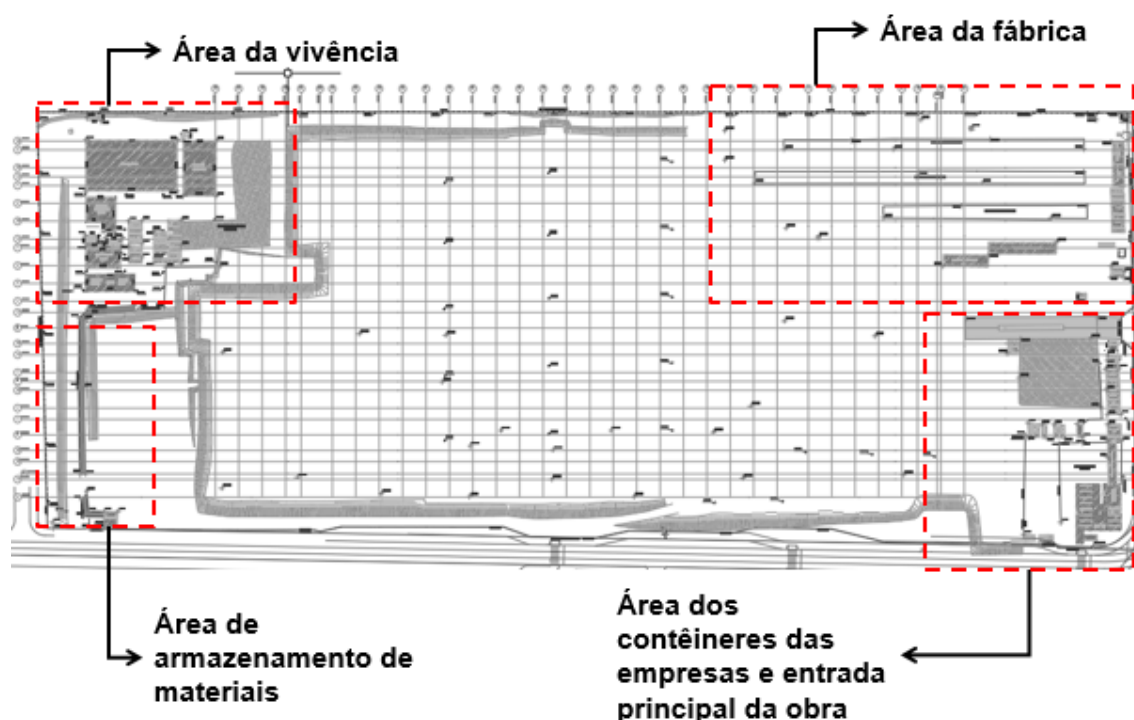


Figura 73 – *Layout* do canteiro de obras

Na Figura 74 é identificada a área do canteiro destinada à fabricação das peças pré-fabricadas. Devido a essa particularidade, a área de estoques das peças acabadas deveria ser mais bem planejada e controlada. Porém, identificou-se a falta de um plano adequado para armazenamento das peças, resultando em peças estocadas em diferentes partes do canteiro, próximas as áreas de execução de outros serviços (Figura 75) e a própria atividade de montagem (Figura 76).



Figura 74 – Vista aérea do espaço da fábrica



Figura 75 – Área de estoque localizada próxima a execução de outros serviços



Figura 76 – Área de estoque próxima a área de montagem

Diferentemente da Empresa A, que realizava o planejamento das cargas a fim de evitar estoques de peças no canteiro, a empresa C necessitava gerenciar os estoques dentro do canteiro, no qual ficava o pátio da fábrica. Na Figura 77 é apresentado o histórico das quantidades de peças produzidas, montadas e em estoque. Esses dados indicavam que o processo de montagem tinha normalmente um ritmo mais lento que a pré-fabricação, o que acarretava em muitas peças estocadas.

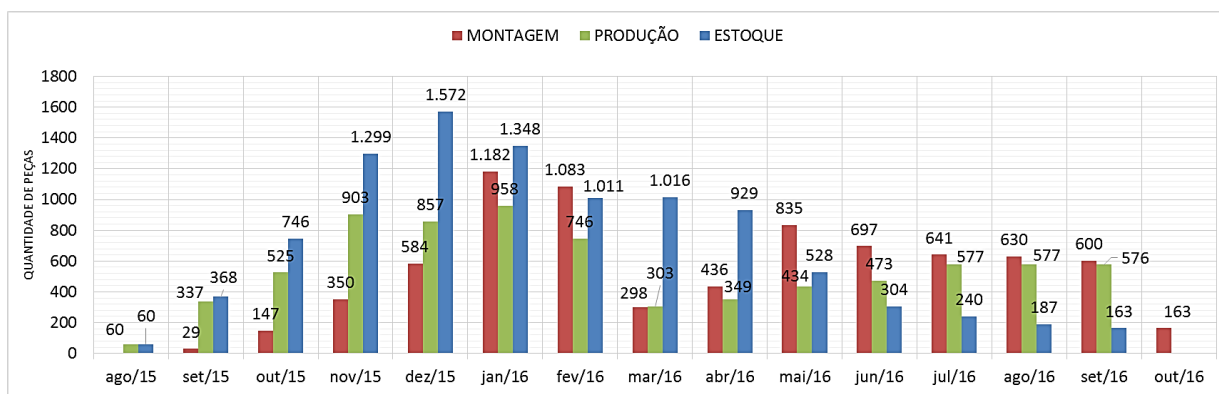


Figura 77 – Relação entre peças produzidas, montadas e em estoque

A Figura 78 apresenta os dados do processo de montagem por setor da edificação. Esses dados foram disponibilizados no relatório da obra no mês de julho de 2016, quando 76% da estrutura



já estava executada. Os dados de montagem geral, em porcentagem, mostram a falta de terminalidade e a existência de trabalho em progresso em todos os setores.

		SETOR 1	SETOR 2	SETOR 3	SETOR 4	SETOR 5	TOTAL
MONTAGEM GERAL	Qtde total (und)	1232 un	1929 un	1773 un	2081 un	693 un	7708 un
	Qtde exe (und)	1155 un	1752 un	1372 un	1049 un	501 un	5829 un
	saldo (und)	77 un	177 un	401 un	05 un	192 un	1879 un
	% executado	94%	91%	77%	50%	72%	76%
MONTAGEM PILAR	Qtde total (und)	114	143	142	161	62	622 un
	Qtde exe (und)	114	143	142	159	62	620 un
	saldo (und)	0	0	0	2	0	02 un
	% executado	100%	100%	100%	99%	100%	100%
MONTAGEM VIGA	Qtde total (und)	364	590	547	618	208	2327 un
	Qtde exe (und)	359	550	350	202	130	1591 un
	saldo (und)	5	40	197	416	78	736 un
	% executado	99%	93%	64%	33%	63%	68%
MONTAGEM LAJE	Qtde total (und)	714	1159	1074	1236	408	4591 un
	Qtde exe (und)	650	1030	880	688	309	3557 un
	saldo (und)	64	129	194	548	99	1034 un
	% executado	91%	89%	82%	56%	76%	77%
MONTAGEM ESCADA	Qtde total (und)	40	37	10	66	15	168 un
	Qtde exe (und)	32	29	0	0	0	61 un
	saldo (und)	8	8	10	66	15	107 un
	% executado	80%	78%	0%	0%	0%	36%

Figura 78 – Resumo dos dados de montagem dos componentes pré-fabricados

Na Figura 79 é representado o índice de repetitividade das peças (razão entre a quantidade total de peças pré-fabricadas definidas em projeto e a quantidade de diferentes tipos de peças). Em relação às lajes o índice de repetitividade era relativamente alto (12,42). Porém, os pilares e as vigas tinham um índice de repetitividade mais baixo, 1,07 e 3,12, respectivamente.

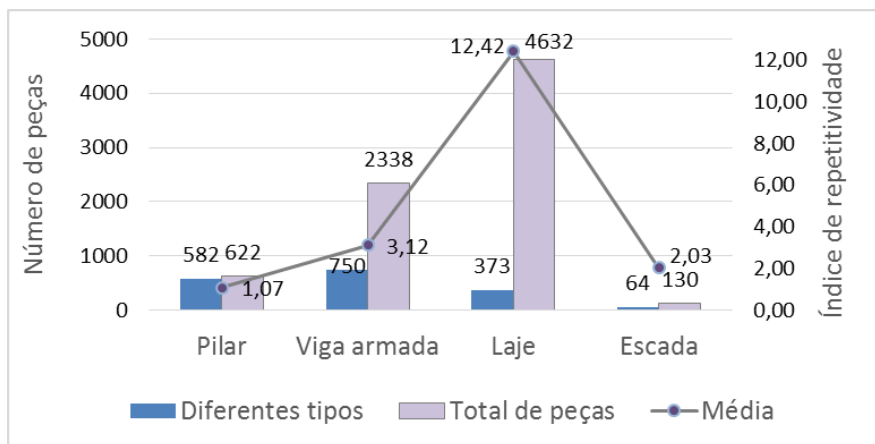


Figura 79 – Índice de repetitividade das peças E2

Em função de todo o material utilizado na produção das peças também ser armazenado no canteiro, os estoques também deveriam ser adequadamente controlados. Assim como as peças,

também foram identificados materiais como o aço mal estocado ao longo do canteiro de obras (Figura 80 (a) e (b)), o que prejudicava a circulação dos equipamentos utilizados na montagem dos componentes.



Figura 80 – Armazenamento de aço

Assim como na Empresa A, o controle de montagem era realizado por meio de painéis com os projetos 2D impressos e dispostos no escritório da empresa C. A Figura 81 mostra o painel de controle da execução por meio do uso de cores. Todas as peças montadas eram representadas na cor rosa. Nesses painéis também era feito o controle da produção, em que as peças eram representadas com a cor verde. A área representada em azul tinha indefinições de projeto.



Figura 81 – Controle de produção e montagem das peças pré-fabricadas

O controle dos estoques era realizado por meio de uma planta do projeto 2D, contendo apenas os eixos definidos da edificação. Toda a peça que saía da fôrma após a cura do concreto, era identificada com um código e armazenada em algum lugar do canteiro. O responsável por essa atividade anotava nesse projeto impresso, qual o eixo em que a determinada peça havia sido estocada. Dessa forma, quando era necessário organizar um lote de peças para a montagem, um dia antes da data definida para esta montagem, a equipe procurava as peças nesse painel, e a transportava para próximo do local onde ocorreria a montagem. O transporte das peças era realizado por carretas, conforme ilustrado na Figura 82.



Figura 82 – Transporte das peças para o local de montagem

### 5.2.2 Contribuições ao desenvolvimento do modelo final

Durante o período do estudo E2 foi possível perceber diversos problemas relacionados com a organização e planejamento do canteiro. As interferências entre as diferentes equipes realizando diferentes serviços em um mesmo espaço da edificação foram identificadas à medida que as reuniões de planejamento semanais aconteciam. Os atrasos na execução das atividades por parte de uma disciplina, no caso da estrutura pré-fabricada em concreto, ocasionaram atrasos em outros sistemas, principalmente nos sistemas de cobertura e fachada. A má disposição dos estoques também trouxe consequências e interferências às atividades.

De certa forma, a empresa C distinguiu-se da empresa A em função da instalação da fábrica dentro do próprio canteiro de obras. Para o engenheiro da Empresa C, esta operação pode ser considerada como a venda de um serviço, pois, a fábrica abastece uma única obra. Toda essa

alteração resulta em mudanças nos processos logísticos de toda a obra e necessita, assim como no caso da empresa A, um planejamento e controle eficaz, principalmente dos estoques de peças.

A falta de uma definição clara do lote e sequência de trabalho também contribuíram para a ocorrência dos problemas enfrentados na execução deste empreendimento. A obra foi dividida em 5 grandes setores sem um plano de sequenciamento elaborado. Por exemplo, a empresa C montou todos os pilares para depois montar as vigas e lajes, existindo assim grande trabalho em progresso, o que prejudicou a circulação dos equipamentos pelo canteiro de obra, já que a parte da edificação representava 46% da área total do canteiro.

Bulhões (2009) afirma que as obras de estruturas de concreto pré-fabricadas devem ser segmentadas em módulos, de forma a definir lotes relativamente pequenos que podem ser repetidos muitas vezes (por exemplo, um vão da estrutura). Entretanto, existe a necessidade de realizar um cuidadoso processo de tomada de decisão para definir o conteúdo do lote a ser adotado, diferentemente de algumas tipologias de obras de edificações, nas quais existe uma unidade repetitiva naturalmente definida (por exemplo, um apartamento, uma casa, um pavimento). Deve haver um equilíbrio em termos de demanda da capacidade da fábrica, do sistema de transporte e dos equipamentos de montagem na obra. É objetivo também do pequeno lote reduzir a movimentação do equipamento, eliminando atividades que não agregam valor (BULHÕES, 2009).

Alguns pontos podem ser destacados e caracterizam a estratégia de produção das peças no próprio canteiro. Por exemplo, a necessidade de um maior esforço em planejar o *layout* e a logística do canteiro de obras, pois os materiais (cimento, areia, aço, etc.) utilizados para produzir as peças bem como as peças já prontas são estocadas na obra. No empreendimento E2, as peças foram produzidas sem considerar essa necessidade resultando em grandes áreas de estoque, que não foram planejadas. Uma analogia pode ser feita com a necessidade de áreas para a pré-montagem de treliças espaciais, que compõem as estruturas secundárias de estruturas pré-fabricadas metálicas, conforme abordou Bortolini (2015).

A disponibilidade de projetos em BIM tinha o potencial de facilitar a implementação de um sistema de controle logístico com foco nos espaços para armazenamento tanto da matéria-prima como das peças prontas, para o planejamento e controle dos fluxos físicos e operações do canteiro de obras. Nessa configuração, apesar de não existir o transporte de cargas de longas

distâncias, como no caso da Empresa A, aumenta a interdependência e a necessidade de planejar e controlar os fluxos físicos. De acordo com Said e El-Rayes (2012) planejar a logística dos materiais em canteiro de obras é uma tarefa desafiadora devido à escassez de espaço para acomodar áreas de armazenamento de materiais em adição às atividades de construção e instalações provisórias.

A partir desse estudo, pode-se confirmar que, em sistemas construtivos pré-fabricados, é imprescindível a produção das peças serem puxadas pela demanda do canteiro de obras. De fato, nos sistemas construtivos pré-fabricados ETO, o controle do trabalho em progresso (WIP)<sup>15</sup> deve basear-se no *feedback* do canteiro de obras e na confirmação das unidades de produção (VIANA, 2015).

Pelo fato da grande interdependência entre as atividades de montagem da estrutura pré-fabricada e os outros intervenientes que atuam no canteiro, por exemplo, estrutura metálica de cobertura, instalações hidrosanitárias e elétricas e montagem dos painéis de fachada, qualquer problema na montagem, como os atrasos e falta de terminalidade, influenciam diretamente nas demais atividades. Dessa forma, possibilidades de melhorar a comunicação e troca de informações entre as empresas, por meio de reuniões no canteiro ou gestão visual, poderiam resultar em melhorias significativas no planejamento das atividades e cumprimento de prazos.

Apesar de grande parte do trabalho desenvolvido ter envolvido a Empresa A e o empreendimento E1, o segundo estudo E2, possibilitou considerações relevantes e contribuiu para salientar algumas decisões quanto ao artefato proposto. Como já citado anteriormente, a definição das áreas de estoque e a necessidade de planejamento das cargas, com a produção puxada pela montagem foram as principais.

---

<sup>15</sup> A quantidade de trabalho em progresso (WIP) presente no sistema de produção pode ser entendida como a quantidade de inventário presente entre o ponto inicial e final da produção, sem levar em conta os estoque de produtos acabados (HOPP; SPEARMAN, 2000).



### 5.3 MODELO PARA GESTÃO DOS PROCESSOS LOGÍSTICOS

A Figura 83 ilustra o modelo proposto para gestão dos processos logísticos de sistemas pré-fabricados em concreto ETO, que foi dividido em duas etapas. A primeira refere-se ao planejamento logístico do canteiro e a segunda abrange o planejamento logístico dos suprimentos. Ambas as etapas são conectadas pelo plano de cargas, definido como a forma de abastecimento dos materiais. De acordo com Schramm (2009), os fluxos de decisão, representados por setas contínuas e de revisão, representados por setas tracejadas, ressaltam o papel sistêmico do processo de tomada de decisão, uma vez que existe grande interdependência entre as diferentes decisões.

O desenvolvimento do modelo 4D é a primeira atividade a ser realizada, pois se buscou usar a simulação BIM 4D como uma ferramenta de apoio às tomadas de decisões na gestão dos processos logísticos. O modelo 4D é desenvolvido a partir do vínculo do modelo 3D dos componentes da estrutura e dos componentes do canteiro de obras com o plano de atividades. Com relação a modelagem, os requisitos a serem considerados durante a modelagem 3D e 4D são descritos na seção 5.3.1.

O plano mestre serve para guiar a elaboração do plano de atividades e também serve para dimensionar e reservar parte da capacidade da fábrica para a produção dos componentes necessários para o abastecimento de determinada obra. O planejamento de longo prazo ou plano mestre é realizado nas fases iniciais do empreendimento e descreve o trabalho a ser realizado ao longo de toda a duração do empreendimento (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Além disso, identifica as principais datas de marco e está fortemente relacionado a documentos contratuais (TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Na Figura 83, o plano mestre é identificado como ponto de partida para a elaboração do plano de atividades e também transfere informações para o PCP da fábrica.

O passo seguinte é a definição do plano de ataque, que divide a obra em lotes de montagem e define o sequenciamento dos mesmos. Para gerar este plano, considera-se as prioridades estabelecidas no plano de produção do empreendimento como um todo (quando existirem outras equipes realizando outras atividades ao mesmo tempo) e no plano de atividades. O plano de ataque é simulado de forma a identificar interferências com planos de diferentes equipes e definir as atividades e os recursos necessários para a execução do empreendimento.

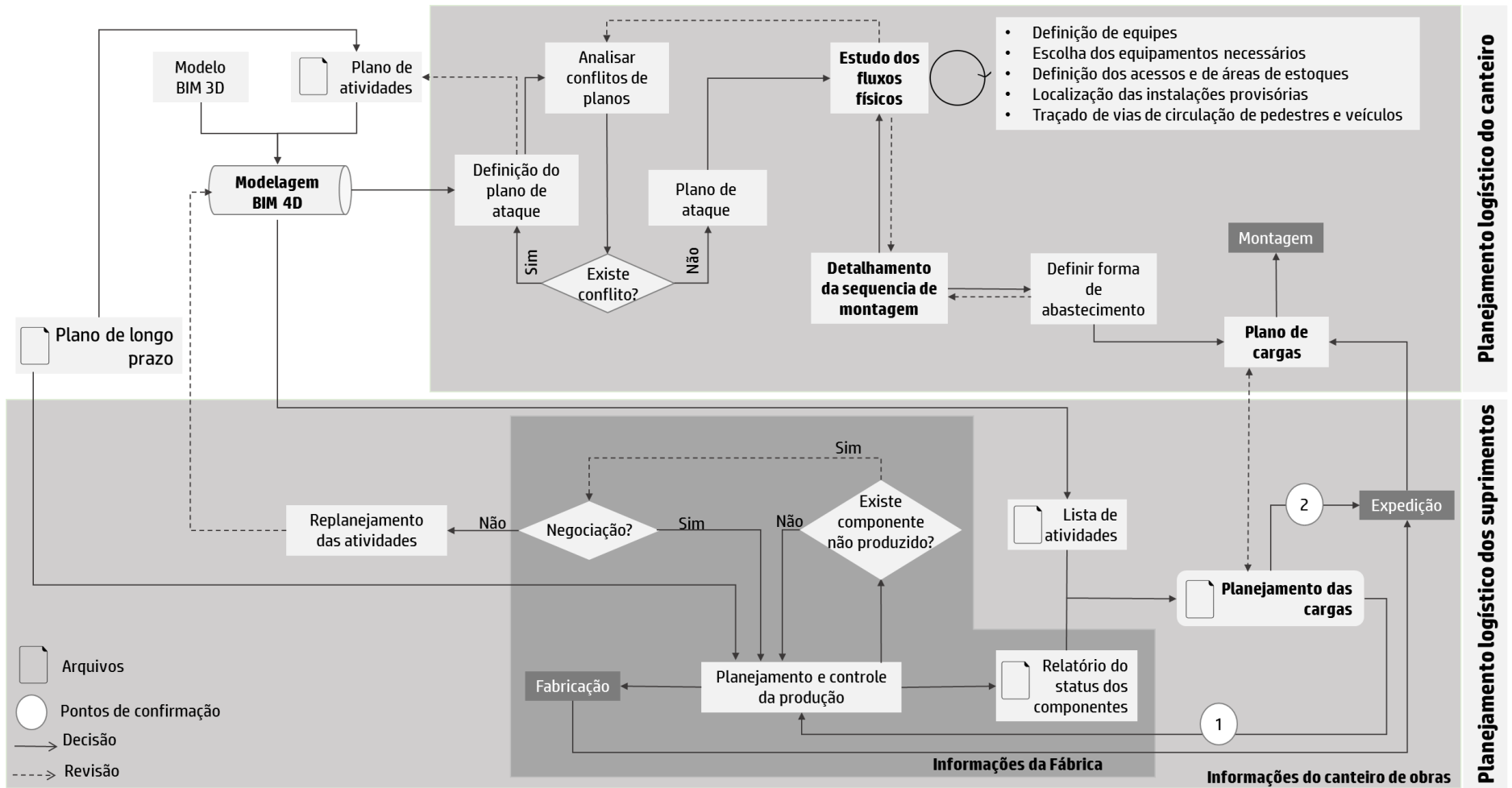


Figura 83 – Modelo proposto para gestão dos processos logísticos

A partir do plano de ataque, propõe-se o estudo dos fluxos físicos envolvidos na execução, com a definição de equipes e escolha dos equipamentos necessários para o trabalho; definição dos acessos; definição das áreas de estoques e alocação das instalações provisórias; e definição de vias de circulação de pedestres e veículos. Essas definições são analisadas concomitantemente, visto que a determinação de uma acaba influenciando a outra.

As equipes e os equipamentos são definidos em função da capacidade de ambos para que os prazos estabelecidos sejam cumpridos. A definição dos acessos leva em conta a disponibilidade de espaço para entrada dos equipamentos e, principalmente, acesso para os veículos de grande porte que transportam as peças. Embora se tenha como meta realizar o processo de montagem a partir da chegada da carga no caminhão, é necessário definir áreas mínimas de estoques, se possível, próximas ao local em que as equipes de montagem estão trabalhando, a fim de evitar grandes movimentações.

As instalações provisórias também devem ser posicionadas em lugares de fácil acesso, principalmente porque ferramentas manuais, utilizadas pelas equipes, são armazenadas nesses locais. As vias de circulação de pedestres e veículos devem ser definidas de maneira a evitar interferências entre ambas, aumentando a segurança do tráfego.

Além do estudo dos fluxos físicos, o modelo indica o detalhamento do sequenciamento de montagem, que permite definir a forma de abastecimento do canteiro e posteriormente permitir a elaboração dos planos de cargas. A análise das programações e do sequenciamento indicam a ordem e o tempo requeridos para a montagem da estrutura do empreendimento (KYMMELL, 2008) e, com isso, é possível aumentar a produtividade das equipes em função da redução das paradas das mesmas (KYMMELL, 2008), que podem acontecer, principalmente, por falta de materiais ou frentes de trabalho.

A segunda parte do modelo, denominada de planejamento logístico dos suprimentos, é essencialmente relacionada com o planejamento das cargas, sendo vinculado com a primeira parte do modelo por meio do plano de cargas. Esses planos cumprem um importante papel na coordenação entre o processo de montagem em obra e a fabricação dos componentes, na planta industrial, podendo também ser utilizado para controlar os fluxos de materiais.

A existência de incertezas no canteiro de obras, tais como indefinições de projeto e mudanças no sequenciamento de atividades predecessoras, faz com que o plano de longo prazo, definido nos estágios iniciais do empreendimento, não possa ser seguido. Assim, há necessidade de

definição de pontos de confirmação na produção de peças na fábrica e também na entrega de componentes na obra para evitar o aumento do trabalho em progresso. Dessa forma, os planos de longo prazo devem servir para estabelecer uma reserva de capacidade da fábrica, ao invés de empurrar a produção de peças e entregá-las na obra.

Tais confirmações dependem do conhecimento do status da obra e também da fabricação de peças na fábrica, conforme o conceito de produção puxada proposto por Hopp e Spearman (2000). Por meios destes pontos de confirmação podem-se evitar estoques excessivos na fábrica e no canteiro de obras.

O planejamento de cargas é realizado levando em conta as atividades planejadas no canteiro de obras, a partir da lista de atividades fornecida pelo modelo 4D e o relatório de *status* dos componentes fornecido pela fábrica. Essas informações são atualizadas e disponibilizadas frequentemente. O plano de cargas deve ser repassado para a fábrica, com um tempo de antecedência previamente estabelecido, como forma de confirmar a demanda necessária pela obra. Para isso, o setor de planejamento e controle da produção faz uma conferência para confirmar que todos os componentes listados estejam disponíveis quando solicitados. Caso existam componentes não produzidos é feita uma negociação que pode resultar na confirmação e garantia pela fábrica de que irá produzir o componente para a data planejada, ou, a não confirmação pela produção, resultando na necessidade de replanejamento das atividades de montagem.

A parte tracejada em vermelho na Figura 83 indica as interações que ocorrem entre a fábrica e o canteiro de obras. Após todas as definições a respeito das cargas com a fábrica, o gestor do processo de montagem na obra envia para o setor de expedição as cargas que devem ser enviadas a obra, também com um prazo definido previamente, e, por fim, é realizada a montagem da estrutura no canteiro de obras.

O modelo foi concebido baseado na situação em que as peças são fabricadas fora do canteiro de obras, e que são transportadas, na maioria das vezes, por longas distâncias até o local de montagem. No entanto, o estudo E2 pode mostrar uma situação diferente, que tem se tornado comum, com a instalação da fábrica para a produção das peças no próprio canteiro de obras. Essa estratégia acaba não exigindo grandes movimentações de cargas, mas torna as operações logísticas dentro do canteiro mais complexas. Além disso, aumenta a interdependência entre os diferentes intervenientes atuantes no canteiro.

Se por um lado, quando se produz no próprio canteiro, não existem os custos com transporte de cargas, decorrentes geralmente de longas distâncias até a obra, por outro surge a necessidade de maior controle dos processos logísticos no canteiro de obras e melhorias na definição das áreas destinadas para os estoques, tanto da matéria-prima utilizada na produção como das peças prontas. Além do controle das áreas de estoques, o alinhamento do tamanho dos lotes da produção com o progresso das atividades de montagem é importante para que essas áreas sejam devidamente gerenciadas, de forma que, a produção das peças seja puxada pelas demandas de montagem.

Outro ponto a ser discutido é o caso da produção de produtos padrões ou peças repetidas pela empresa. O modelo para gestão dos processos logísticos é proposto para o caso da produção por encomenda, para projetos específicos e altamente customizados. Mas, pode-se considerar que, para produtos padrões, como telhas ou painéis de fachada, ou ainda, algumas peças de caráter repetitivo, como as lajes, puderam ser utilizados estoques do tipo supermercado. Nesse sistema, cada processo tem um estoque controlado de peças, no qual é armazenada uma quantidade controlada de cada item produzido, sendo que cada processo produz apenas o necessário para repor o que é retirado do seu supermercado (BULHÕES 2009). Com essa estratégia, é possível reduzir o *lead-time* das entregas (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014).

### 5.3.1 Requisitos a serem considerados durante a modelagem

A definição do escopo das informações para o desenvolvimento do modelo BIM para apoiar a gestão logística é um dos pontos chave para a padronização dos processos logísticos e por isso foram propostos alguns requisitos importantes a serem considerados no processo de modelagem 3D e 4D. A Figura 84 esquematiza o processo de modelagem. Cabe ressaltar que os *software* para modelagem 3D e 4D adotados nessa pesquisa, no momento da escolha pelo pesquisador pareceram os mais adequados para atender ao objetivo desejado.

O *software Synchro* foi utilizado para as aplicações realizadas no estudo e todos os objetos do modelo 3D, quando importados para o *software*, devem ser transformados em recursos para que o vínculo desses com a atividade possa ser realizado. Caso essa transformação não seja realizada, não é possível vincular os elementos à atividade correspondente. No entanto, quando o arquivo IFC é importado, o *software* reconhece cada objeto como recurso e a árvore de recursos, como denominada na Figura 84, é análoga a estrutura do modelo 3D.

A preparação do ambiente de trabalho para o uso do BIM também deve ser ponto chave para a implementação e vem anteriormente a qualquer dos requisitos definidos. Dispor de computadores potentes, em que possam ser instalados sistemas computacionais necessários e pessoal treinado também são requisitos indispensáveis.

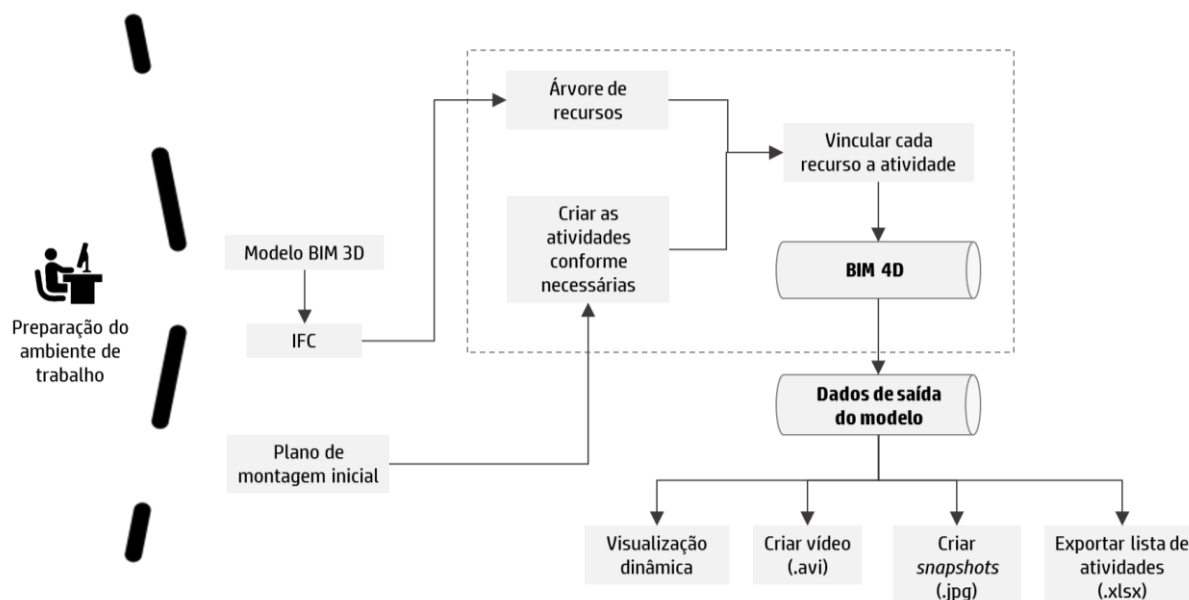


Figura 84 – Processo de modelagem

O modelo deve conter um escopo de informações bem definidas, úteis e compreensíveis para a tomada de decisões por parte dos distintos usuários envolvidos. O principal usuário potencial do modelo é o gestor da obra, porém, outros usuários, tais como coordenadores e engenheiros de outras empresas, mestre de obras, subempreiteiros e, até mesmo, os operários, podem participar das reuniões de planejamento.

A modelagem 4D deve ser feita de forma a contribuir para a criação de um ambiente adequado para a realização de processos colaborativos nas reuniões de planejamento, gerando discussões e um melhor entendimento dos processos de montagem pelos intervenientes. A colaboração entre vários intervenientes pode contribuir para aumentar a confiabilidade dos planos e a aderência aos padrões estabelecidos. As informações necessárias relacionam-se aos componentes da estrutura pré-fabricada, incluindo dados de identificação da peça, localização e orientação da peça em função dos eixos definidos, assim como com o canteiro de obras e entornos, incluindo os acessos à obra, áreas de estoque e equipamentos utilizados pela equipe de montagem.

O nível de desenvolvimento do modelo 3D deve ser definido de acordo com o objetivo de aplicação dos modelos 4D, em função das implicações no tempo gasto para a criação dos modelos (HEESOM; MAHDJOURI, 2004). A partir deste trabalho, recomenda-se o LOD 300 para os componentes da estrutura pré-fabricada e LOD 200 para os elementos do canteiro de obras.

É importante que seja criada uma biblioteca de objetos BIM com os padrões da empresa contribuindo para a redução do tempo de modelagem dos componentes do projeto. A empresa A não utilizava BIM para a modelagem dos seus empreendimentos. Diante disso, a pesquisadora modelou os componentes e configurou uma biblioteca BIM para a empresa A. Embora tenha sido identificada uma grande quantidade de peças de diferentes tipos, foi possível a criação de famílias de objetos paramétricos para reaproveitar os componentes modelados no setor 1 da edificação nos demais setores. Neste sentido, poderia ser dado mais destaque à criação de bibliotecas de componentes de alta repetitividade ou que representem famílias de produtos.

Além disto, deve ser definida uma padronização de códigos para os componentes modelados e uma nomenclatura para as atividades de montagem. Sugere-se que a nomenclatura adotada nos projetos estruturais seja compatível com o padrão adotado para cadastro das peças no sistema da empresa, que é utilizado para gerar as ordens de produção e de compras. Com a adoção de padrões de nomenclatura para as atividades de montagem, pode-se melhorar a troca de informações entre os diferentes níveis hierárquicos do planejamento. Finalmente, pode-se adotar códigos de cores para etapas ou frentes de trabalho, o que permite a identificação mais rápida dos lotes de montagem.

Com o modelo BIM 4D finalizado, pode-se ter quatro diferentes tipos de dados de saída para comunicar e compartilhar as informações disponíveis, dependendo do objetivo pretendido para seu uso. Além da visualização dinâmica dos modelos no formato digital e vídeos, o uso de dispositivos visuais a partir do modelo 4D pode ser usado para a disseminação de informações relevantes. Podem ser criados *snapshots* para representação de detalhes específicos. A disponibilidade de informações ao público por meio de dispositivos visuais torna o processo diretamente observável, aumentando a transparência do processo e contribuindo para a visibilidade dos possíveis erros (KOSKELA, 1992). São exemplos dessa utilização, a elaboração de painéis com imagens do modelo 4D (Figura 55) contendo detalhes da sequência de execução da montagem ou os registros fotográficos realizados em campo (Figura 57 b, d)

que permitiram a comparação entre as informações das atividades planejadas e executadas (Figura 57 a, c).

## 5.4 AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO

Com base nos constructos utilidade do modelo e facilidade de uso, definidos na seção 4.4, foi realizada uma avaliação do artefato proposto.

### 5.4.1 Utilidade

A avaliação em relação ao constructo utilidade do modelo levou em conta a utilização das informações da simulação BIM 4D na tomada de decisão, o aumento no entendimento dos processos da construção pelos intervenientes e o criação de um ambiente mais colaborativo.

A aplicação de BIM 4D como suporte à tomada de decisão trouxe melhorias substanciais no processo de planejamento e controle, principalmente quanto à clareza das informações geradas durante a modelagem e proporcionou ganhos substanciais em confiabilidade e produtividade.

As entrevistas não estruturadas conduzidas com o gestor do canteiro, representante da empresa A, revelaram que a disponibilidade de informações acerca das atividades de montagem proporcionou avanços no planejamento das cargas. A integração entre as informações da fabricação e da montagem dos componentes resultaram em agilidade nesse processo e maior cumprimento dos prazos estabelecidos para entregas das peças em obra, devido principalmente a disponibilidade de informações em tempo real.

A aderência à data de entrega das cargas em obra (divisão do número de cargas não entregues no prazo pelo total de cargas observadas) foi uma avaliação realizada para verificar o cumprimento dos prazos estabelecidos, resultando em um indicador importante. Dessa forma, comparando a montagem do setor 1 com o setor 3 foi possível perceber um ganho substancial de produtividade na montagem, sendo que o avanço foi de 18 peças/dia para a montagem de 39 peças/dia. Além do mais, a fábrica teve 95% de atendimento aos prazos de entrega as cargas solicitadas, sendo que na montagem do setor 1, obteve-se apenas 22% de atendimento conforme solicitado no planejamento de cargas.

A utilização da simulação BIM 4D como ferramenta de visualização, principalmente nas reuniões de planejamento, possibilitou melhorar o entendimento dos processos da construção



pelos intervenientes, resultando em melhorias no plano de ataque e no sequenciamento das atividades. O maior detalhamento dos planos semanais foi resultado deste melhor entendimento do processos e sequenciamento das atividades. Além disso, a gestão física do canteiro de obras também pode ser explorada com a proposição de melhorias na organização do canteiro.

Um dos principais objetivos do uso do BIM era tornar o ambiente de trabalho mais colaborativo com o envolvimento dos colaboradores na proposição de melhoria no desempenho das suas equipes. Nesse trabalho, as discussões geradas durante as reuniões de planejamento proporcionaram a colaboração no desenvolvimento de soluções para a resolução de problemas enfrentados durante a construção. O uso dos modelos contribuiu para que a equipe de obra da Empresa A (engenheiro responsável pela execução da obra, estagiários e encarregado de montagem) e a equipe da empresa construtora (engenheiros responsáveis pelo planejamento e pela execução) criassem um entendimento comum acerca do planejamento da obra e contribuíssem à gestão dos processos logísticos da obra.

#### 5.4.2 Facilidade de uso

Em relação ao constructo facilidade de uso, foi avaliado o esforço empregado na modelagem e simulação 4D, a participação dos envolvidos no processo de simulação 4D e o interesse em continuar o uso de ferramentas utilizadas nos estudos.

Analisando o esforço empregado na modelagem 3D e 4D, de acordo com o registro de tempos disponibilizados no item 5.1.2.1, fica clara a diminuição do tempo gasto para modelagem das etapas da obra. A modelagem 3D foi facilitada devido a criação de famílias dos componentes pré-fabricados que foram reaproveitadas ao longo da modelagem. Também, na modelagem do canteiro de obra e entornos foram feitas adaptações e reutilização dos elementos. Outro fator de influência para a diminuição dos tempos foi a capacitação ao longo da pesquisa na utilização dos programas computacionais, de forma que o aprendizado vem, principalmente, com a aplicação prática.

Todo o processo de modelagem 3D e 4D foi realizado pela equipe de pesquisadores. Entretanto, foi imprescindível a participação da equipe de montagem, incluindo engenheiro e responsáveis pela gestão do canteiro de obras. A participação dos envolvidos foi evidenciada a partir das análises críticas e solicitações por alterações de sequência de montagem. A visualização dinâmica do modelo e a criação de *snapshots* para apresentações de algum detalhe específico foram bastante utilizadas durante as reuniões de planejamento. A lista de atividades exportada

no *software* de modelagem 4D foi utilizada para o planejamento de cargas e era constantemente atualizada a partir das solicitações vindas da obra.

Embora a empresa A, no período do estudo, ainda não utilizasse *software* BIM para seus projetos, a mesma demonstrou o interesse em continuar a aplicação de ferramentas utilizadas no estudo. A demanda por projetos em BIM estava sendo solicitada por alguns clientes e isso fez com que a empresa passasse a dedicar tempo e funcionários para o aprendizado. Estavam em fase de testes para implementação o *software* TQS PREO<sup>16</sup>, que exporta arquivos IFC, permitindo a interoperabilidade com outros programas BIM e faz todo o detalhamento da estrutura, não precisando mais ser detalhado manualmente no AutoCAD. Dessa forma, o tempo para modelagem 3D seria despendido apenas para a modelagem do canteiro de obras.

---

<sup>16</sup> O TQS PREO é um *software* direcionado para elaboração de projetos de estruturas pré-moldadas e pré-fabricadas de concreto armado e protendido, que integra o lançamento de dados, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento das armaduras e, desenhos e plantas (TQS, 2017).

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

A pesquisa teve como motivação a oportunidade de resolver um problema prático de uma empresa que projeta, fabrica e monta sistemas construtivos pré-fabricados em concreto. E, devido à grande interação com o contexto organizacional, a abordagem de pesquisa adotada foi a DSR.

Este trabalho teve como principal objetivo propor um modelo para gestão dos processos logísticos de obras de sistemas pré-fabricados ETO, com o apoio de BIM 4D. O modelo proposto foi elaborado a partir dos resultados obtidos nos estudos empíricos e algumas considerações do modelo proposto por Bortolini (2015). Foi proposta a divisão em duas etapas: planejamento logístico do canteiro de obras e o planejamento logístico dos suprimentos, de acordo com a divisão proposta por Silva e Cardoso (1998).

Considera-se que o desenvolvimento de um modelo é essencial para formalização do conhecimento e a padronização do trabalho, facilitando a tomada de decisões dos envolvidos e permitindo melhorias no desempenho dos processos logísticos. Considerando a necessidade de utilizar informações do projeto, assim como o status da obra e a disponibilidade de peças na expedição da fábrica, a tecnologia da informação e, particularmente, os modelos BIM podem ser utilizados para integrar e atualizar as informações para apoiar a tomada de decisão. No presente trabalho, a integração entre as informações da fabricação e da montagem dos componentes resultaram em consideráveis melhorias no planejamento logístico.

As informações geradas pela simulação BIM 4D apoiaram a gestão dos processos logísticos, com foco no planejamento logístico do canteiro, que abrange como principais atividades a definição do plano de ataque, estudo dos fluxos físicos e detalhamento do sequenciamento de montagem, e no planejamento logístico dos suprimentos por meio do planejamento das cargas e controle de estoques. Além disso, foi dada ênfase às interações entre o sistema de planejamento e controle da produção tradicional e a gestão dos processos logísticos, considerando principalmente as atividades de fluxo que não agregam valor e a necessidade de sincronia entre projeto, fabricação e montagem em ambientes ETO. De maneira geral, os ganhos proporcionados pelo uso de modelos 4D corresponderam a possibilidade de visualizar o progresso da construção do empreendimento e as relações espaciais ao entorno, permitindo

tomar decisões com relação a organização e logística do canteiro e também decidir o fluxo de materiais.

O estudo empírico E1 evidenciou que a eficácia do planejamento em sistemas de produção ETO depende da sincronização entre os processos de projeto, fabricação e montagem no canteiro de obras. Logo, as reais necessidades do canteiro de obras são um ponto chave para a definição de estratégias de produção e logística. Sendo assim, o planejamento das cargas, além de ser essencial para confirmar a necessidade por produção de componentes e controlar o fluxo de materiais, fornecem a definição clara do lote e sequência de montagem.

O estudo empírico E2, embora com a estratégia de alocação da fábrica para a produção dos componentes no próprio canteiro de obras do empreendimento que será abastecido, no qual não foi constatado a realização de um planejamento formal de cargas, contribuiu para a confirmação da necessidade de sistematizar esse processo. Para esse tipo de serviço, o plano de cargas teria um papel importante para o controle dos estoques da fábrica, que, nesse caso, eram armazenados no próprio canteiro de obras, fazendo parte das áreas destinadas para estoque de toda a obra.

O primeiro objetivo específico deste trabalho consistiu em “propor aplicações para facilitar o planejamento das cargas utilizando as informações provenientes da simulação BIM 4D a fim de tornar o processo mais sistemático e integrá-lo ao planejamento e controle da produção”. A proposta para atingir o objetivo foi integrar as informações provenientes da fábrica sobre a produção de cada componente e as informações resultantes da simulação BIM 4D sobre a montagem desses componentes em uma planilha. A possibilidade de trocas e atualizações das informações aumentou a confiabilidade e a transparência do processo. A partir disso, existiu uma alteração no fluxo de informação relacionada aos materiais, possibilitando que mais informações do *status* do sistema pudessem estar disponíveis e sincronizadas. No entanto, mais do que a aplicação, houve uma mudança no processo de elaboração dos planos de carga com o uso da tecnologia da informação.

Pelo envolvimento da pesquisadora no processo de desenvolvimento dos modelos BIM foi possível ressaltar requisitos e alguns padrões importantes para serem considerados durante esse processo, de maneira que as informações disponíveis pudessem ser utilizadas para a gestão dos processos logísticos e tomadas de decisões de outros empreendimentos que utilizem sistemas pré-fabricados. Dessa forma, atendendo ao segundo objetivo específico proposto “definição de

requisitos de modelagem a fim de que os modelos BIM possam ser utilizados na gestão dos processos logísticos de obras”.

Quanto ao nível de desenvolvimento dos modelos BIM necessários para os objetivos propostos, considerando as duas etapas do planejamento logístico, o estudo mostrou que a utilização de um nível de detalhe similar ao LOD 300, o qual define com precisão a quantidade, tamanho, forma, localização e orientação dos elementos. Além disso, recomenda-se a utilização de padrões de códigos para os componentes do modelo 3D bem como para os planos de atividades. Nesse sentido, as recomendações para a utilização destes níveis e padrões contribuem para economias de tempo por parte dos modeladores BIM em detalhes que não são importantes.

Por fim, conclui-se que a adoção do BIM 4D na construção industrializada resultou em melhorias no compartilhamento das informações entre a fábrica e a obra, além de ganhos substanciais na produtividade das equipes devido ao atendimento da demanda da obra pela fábrica, contribuindo para a solução de alguns problemas identificados na literatura como a falta de confiabilidade do planejamento no canteiro de obras e da comunicação insuficiente entre fábrica e obra.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos estudos realizados, sugere-se os seguintes trabalhos futuros:

- a) Avaliar e refinar o modelo proposto a partir da sua aplicação em outros tipos de sistemas construtivos industrializados, por exemplo *wood frame* ou *light steel frame*;
- b) Fazer uma análise detalhada da utilização da capacidade dos recursos (mão-de-obra e equipamentos), comparando-se os custos, por exemplo, quando se tem atrasos na produção ou na montagem; e
- c) Investigar como algumas melhorias no processo de desenvolvimento do produto, visando à padronização e modularização de componentes, poderiam influenciar no desempenho da produção.

## REFERÊNCIAS

- AGAPIOU, A. *et al.* The role of logistics in the materials flow control process. **Construction Management and Economics**, v. 16, n. 2, p. 131–137, 1998.
- AHANKOUB, A. *et al.* Optimizing Construction Scheduling Through Use of Building Information Modeling in Construction Industry. In: MANAGEMENT IN CONSTRUCTION RESEARCH ASSOCIATION, Malaysia, 2012. **Proceedings...** Malaysia, 2012.
- AIA. Document G202™ – 2013 **Project Building Information Modeling Protocol Form**, 2013.
- AKINTOYE, A. Just-in-Time application and implementation for building material management. **Construction Management & Economics**, v. 13, n. 2, p. 105–113, 1995.
- ALMOHSEN, A.; RUWANPURA, J. Logistics Management in the Construction Industry. In: CIB W78-W102, Sophia Antipolis, 2011. **Proceedings...** Sophia Antipolis, 2011.
- ANDAYESH, M.; SADEGHPOUR, F. The time dimension in site layout planning. **Automation in Construction**, v. 44, p. 129–139, 2014.
- ARBULU, R.; BALLARD, G. Lean supply systems in construction. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., Helsingør, 2004. **Proceedings...** Helsingør, 2004.
- AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011.
- BALLARD, G.; ARBULU, R. Making prefabrication lean. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., Helsingør, 2004. **Proceedings...** Helsingør, 2004.
- BALLARD, G.; HARPER, N.; ZABELLE, T. Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 10, n. 1, p. 6–14, 2003.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. What kind of production is construction? In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6., Guarujá, 1998. **Proceedings...** Guarujá, 1998a.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: Essential step in production control. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11–17, 1998. b.
- BALLARD, H. G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- BERTRAND, J. W. M.; MUNTSLAG, D. R. Production control in engineer-to-order firms. **International Journal of Production Economics**, v. 30–31, n. 0, p. 3–22, 1993.

BHATLA, A.; LEITE, F. Integration Framework of Bim With the Last Planner System Tm. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20., San Diego, 2012. **Proceedings**... San Diego, 2012.

BIMFORUM. LOD | BIMForum. 2018. Disponível em: <<http://bimforum.org/lo/>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

BIOTTO, C. N. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso de modelagem BIM 4D**. Porto Alegre, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Program de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BJÖRNFOT, A.; STEHN, L. Product design for improved material flow - a multi-storey timber housing project. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney, 2005. **Proceedings**... Sydney, 2005.

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

BORTOLINI, R. **Modelo para Planejamento e Controle Logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D**. Porto Alegre, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Program de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. 4D / BIM simulation for pre-construction and construction scheduling . Multiple levels of development within a single case study . **Creative Construction Conference**, v. 2015, n. JUNE, p. 500–505, 2015.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. The challenge of level of development in 4D/BIM simulation across AEC project lifecycle. A case study. **Procedia Engineering**, v. 123, p. 59–67, 2015. b.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRITO, D. M.; FERREIRA, E. a. M. Strategies for Representation and Analyses of 4D Modeling Applied to Construction Project Management. **Procedia Economics and Finance**, v. 21, n. 15, p. 374–382, 2015.

BULHÕES, I. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil : uma abordagem baseada na mentalidade enxuta**. Campinas, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CHAN, W.-T.; ZENG, Z. Coordinated production scheduling of prefabricated building components. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS: WIND OF CHANGE: INTEGRATION AND INNOVATION, Salt Lake City, 2004. **Proceedings**... Salt Lake City, 2004.

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. Four-Dimensional Visualization of Construction Scheduling and Site Utilization. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.

130, n. 4, p. 598–606, 2004.

CHENG, J. C. P.; KUMAR, S. A BIM-Based Framework for Material Logistics Planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.

CHOI, B. *et al.* Framework for Work-Space Planning Using Four-Dimensional BIM in Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 9, p. 4014041, 2014.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. London: Pearson, 2011.

CHUA, D. K. H.; YEOH, K. W.; SONG, Y. Quantification of Spatial Temporal Congestion in Four-Dimensional Computer-Aided Design. **Journal of Construction Engineering & Management**, v. 136, n. 6, p. 641–649, 2010.

COLE, R. *et al.* Being Proactive: Where Action Research meets Design Research. **ICIS 2005 Proceedings**, p. 1–21, 2005.

CROTTY, R. **The Impact of Building Information Modeling: Transforming Construction**. New York: Taylor & Francis Group, 2012.

CSCMP. Council of Supply Chain Management Professionals. 2016. Disponível em: <<https://cscmp.org/>>. Acesso em: 23 maio. 2016.

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

DAVE, B. **Developing a construction Management System based on Lean Construction and Building Information Modelling**. 2013. Thesis (Doctor of Philosophy), University of Salford, Salford, 2013.

DAVE, B.; BODDY, S.; KOSKELA, L. Visilean: designing a production management system with lean and BIM. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 19., Lima, 2011. **Proceedings...** Lima, 2011.

DAWOOD, N.; SIKKA, S. Development of 4D based performance indicators in construction industry. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 16, n. 5, p. 438–458, 2009.

DEFFENSE, J.; CACHADINHA, N. Lean Production in the Precast Concrete Components' Industry. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. New York: John Wiley & Sons, 2011.

EDEN, C.; HUXHAM, C. Action Research for Management Research. **British Journal of Management**, v. 7, n. 1, p. 75–86, 1996.

EL-RAYES, K.; SAID, H. Dynamic Site Layout Planning Using Approximate Dynamic



- Programming. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 2, p. 119–127, 2009.
- ELBELTAGI, E. *et al.* Schedule-dependent evolution of site layout planning. **Construction Management & Economics**, v. 19, n. 7, p. 689–697, 2001.
- ERGEN, E.; AKINCI, B. Formalization of the Flow of Component-Related Information in Precast Concrete Supply Chains. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 2, p. 112–121, 2008.
- FARD, M. G. *et al.* Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 6, p. 391–404, 2009.
- FARD, M. G.; PEÑA-MORA, F. Application of Visualization Techniques for Construction Progress Monitoring. In: **COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING**, Pittsburgh, 2007. **Proceedings...** Pittsburgh, 2007.
- GLEDSON, B. J.; GREENWOOD, D. The implementation and use of 4D BIM and virtual construction. In: **ANNUAL ASSOCIATION OF RESEARCHERS IN CONSTRUCTION MANAGEMENT CONFERENCE**, 30., Portsmouth, 2014. **Proceedings...** Portsmouth, 2014.
- GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741–754, 2009.
- HAMZEH, F.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. **Lean Construction Journal**, p. 15–34, 2012.
- HARRIS, B.; ALVES, T. D. C. L. 4D Building Information Modeling and field operations: an exploratory study. In: **ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings...** Fortaleza, 2013.
- HAWKINS, G. **Industrialised, Integrated, Intelligent Construction project logistics**. Industrialised, Integrated, Intelligent sustainable Construction - Handbook 2., 2010.
- HEESOM, D.; MAHDJOUBI, L. A dynamic 4D simulation system for construction space planning. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON DECISION MAKING IN URBAN AND CIVIL ENGINEERING**, 3., London, 2002, **Proceedings...** London, 2002.
- HEESOM, D.; MAHDJOUBI, L. Trends of 4D CAD applications for construction planning. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 2, p. 171–182, 2004.
- HICKS, C.; MCGOVERN, T.; EARL, C. F. A Typology of UK Engineer-to-Order Companies. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, v. 4, n. 1, p. 43–56, 2001.
- HOLMSTROM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory : A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics**. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2000.
- IGLC. The International Group for Lean Construction. 2017. Disponível em:

<<http://iglc.net/Home/About>>. Acesso em: 4 mar. 2017.

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

JONGELING, R.; OLOFSSON, T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 189–198, 2007.

KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243–264, 1993.

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

KIM, C.; KIM, C.; SON, H. Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data. **Automation in Construction**, v. 31, p. 75–82, 2013.

KÖNIG, M.; HABENICHT, I. On-site logistics simulation in early planning phases. In CONSTRUCTION APPLICATIONS OF VIRTUAL REALITY, 11., Bauhaus, 2011. **Proceedings...Bauhaus**, 2011.

KOO, B.; FISCHER, M. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. **Journal of Construction Engineering & Management**, v. 126, n. 4, p. 251–260, 2000.

KOSKELA, L. **Application of the new philosophy to construction**. CIFE Technical Report, n. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Salford, 1992.

KOSKELA, L. **An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction**. . Thesis (Ph.D) – Technical Research Center of Finland, Espoo, 2000.

KOSKELA, L. Is Structural Change the Primary Solution to the problems of construction? **Building Research & Information**, v. 31, n. 2, p. 85–96, 2003.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and simulations**. USA: McGraw-Hill, 2008.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of Logistics Management**. United States of America: Gary Burke, 1998.

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

LEE, S.; YU, J.; JEONG, D. BIM Acceptance Model in Construction Organizations. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 1988, p. 4014048, 2013.

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

2006. Lund University, 2006.

LESSING, J. .; STEHN, L. .; EKHOLM, A. . Industrialised housing: Definition and categorization of the concept. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney, 2005. **Proceedings...** Sydney, 2005.

LI, Y.; STEPHENS, J.; RYBA, A. Four-dimensional modelling on Tottenham Court Road station, London , UK. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, v. 167, n. 5, p. 33, 2014.

LI, Z.; SHEN, G. Q.; XUE, X. Critical review of the research on the management of prefabricated construction. **Habitat International**, v. 43, p. 240–249, 2014.

LIKER, J. K. **The Toyota Way: 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer**. USA: McGraw Hill Professional, 2004.

LUKKA, K. The Constructive Research Approach. In: **Case study research in logistics**, v. Series B, v. 1, p. 83–101, 2003.

LUMMUS, R. R.; KRUMWIEDE, D. W.; VOKURKA, R. J. The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition. **Industrial Management & Data Systems**, v. 101, n. 8, p. 426–432, 2001.

MA, Z.; SHEN, Q.; ZHANG, J. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. **Automation in Construction**, v. 14, n. 3, p. 369–381, 2005.

MAO, C. *et al.* Major Barriers to Off-Site Construction : The Developer's Perspective in China. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 3, p. 1–8, 2015.

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

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. Synchronization of the manufacturing process and on-site installation in ETO companies. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 457–462, 2014.

MATT, D. T.; DALLASEGA, P.; RAUCH, E. On-site Oriented Capacity Regulation for Fabrication Shops in Engineer-to-Order Companies (ETO). **Procedia CIRP**, v. 33, p. 197–202, 2015.

MCGOVERN, T.; HICKS, C.; EARL, C. F. Modelling Supply Chain Management Processes in Engineer-to-Order Companies. **International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management**, v. 2, n. 2, p. 147–159, 1999.

NING, X.; LAM, K.; LAM, M. C. A decision-making system for construction site *layout* planning. **Automation in Construction**, v. 20, n. 4, p. 459–473, 2011.

O'BRIEN, W. J. *et al.* **Construction Supply Chain Management Handbook**. Taylor & Francis Group, 2009.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OLHAGER, J. Strategic positioning of the order penetration point. **International Journal of Production Economics**, v. 85, n. 3, p. 319–329, 2003.

OLHAGER, J. The role of the customer order decoupling point in production and supply chain management. **Computers in Industry**, v. 61, n. 9, p. 863–868, 2010.

PAPADAKI, I. N.; CHASSIAKOS, A. P. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. **Procedia Engineering**, v. 164, p. 20-27, 2016.

PEÑALOZA, G. A. *et al.* Guidelines for Integrated Production Control in Engineer-To- Order Prefabricated Concrete Building Systems : Preliminary Results. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **ITCon**, v. 11, n. **Special issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality**, p. 395–408, 2006.

PHENG, L. S.; CHUAN, C. J. Just-in-time management of precast concrete components. **Journal of Construction Engineering and Management**, n. December, p. 494–501, 2001.

PITAKE, S. A.; PATIL, P. D. S. Visualization of Construction Progress by 4D Modeling Application. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, v. 4, n. 7, p. 3000–3005, 2013.

POWELL, D. *et al.* A new set of principles for pursuing the lean ideal in engineer-To-order manufacturers. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 571–576, 2014.

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

RUDBERG, M.; WIKNER, J. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. **Production Planning & Control**, v. 15, n. 4, p. 445–458, 2004.

RUSHTON, A.; CROUCHER, P.; BAKER, P. **The Handbook of logistics and distribution management**. London: Kogan Page, 2010.

SACKS, R. *et al.* Analysis Framework for the Interaction Between Lean Construction and Building Information Modelling. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 17., Taipei, 2009. **Proceedings...** Taipei, 2009.

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

SACKS, R.; EASTMAN, C. M.; LEE, G. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. **Automation in Construction**, v. 13, n. 3, p. 291–312, 2004.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 5, p. 641–655, 2010.

SAID, H.; EL-RAYES, K. Optimizing material logistics planning in construction projects. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, Alberta, 2010. **Proceedings...** Alberta, 2010.

SAID, H.; EL-RAYES, K. Optimal Material Logistics Planning in Congested Construction Sites. In: CONSTRUCTION RESEARCH CONGRESS, West Lafayette, 2012, **Proceedings...** West Lafayette, 2012.

SAID, H.; EL-RAYES, K. Performance of global optimization models for dynamic site layout planning of construction projects. **Automation in Construction**, v. 36, p. 71–78, 2013.

SAURIN, T. A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obra de edificações**. Porto Alegre, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SÁVIO, R. Plano de rigging precisa de regulamentação. **Revista Manutenção e Tecnologia**, v. 143, 2011. Acesso em: 1 mar. 2017.

SCHLUETER, A.; THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.

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

SEIN, M. K. *et al.* Action Design Research. **MIS Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 37–56, 2011.

SERRA, S. M. B.; OLIVEIRA, O. J. Development of the logistics plans in building construction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING, 2., Rome, 2003. **Proceedings...** Rome, 2003.

SHINGO, S. **Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**, Cambridge: Productivity Press, 1989.

SILVA, F. Da; CARDOSO, F. Applicability of logistics management in lean construction: a case study Approach in Brazilian building companies. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 7., Berkeley, 1998. **Proceedings...** Berkeley, 1998.

SKJELBRED, S.; FOSSHEIM, M. E.; DREVLAND, F. Comparing Different Approaches to Site Organization and Logistics: Multiple Case Studies. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015.

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

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

TAM, V. W. Y. *et al.* Towards adoption of prefabrication in construction. **Building and Environment**, v. 42, n. 10, p. 3642–3654, 2007.

TAURIAINEN, M. *et al.* The effects of BIM and lean construction on design management practices. **Procedia Engineering**, v. 164, n. June, p. 567–574, 2016.

TEZEL, A.; KOSKELA, L.; TZORTZOPOULOS, P. Visual management in construction: Study report on Brazilian cases, **SCRI Research Report**. 2010.

THOMAS, H. R.; SANVIDO, V. E. Role of the Fabricator in Labor Productivity. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 126, n. 5, p. 358–365, 2000.

TOMMELEIN, I. D. Materials Handling and Site Layout Control. In: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 11., Brighton, 1994, **Proceedings...** Brighton, 1994.

TOMMELEIN, I. D. Pull-driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 279–288, 1998.

TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Look-ahead planning: screening and pulling. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON LEAN CONSTRUCTION, 2., São Paulo, 1997, **Proceedings...** São Paulo, 1997.

TQS. TQS. 2017. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

TREVISAN, G. dos S. **Diretrizes para a Gestão Logística em Empresas Engineer - to - Order de Pré - Fabricados na Construção**. Porto Alegre, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

VAISHNAVI, V.; KUECHLER, W. **Design Science Research Methods and Patterns**. Boca Raton: CRC Press, 2015.

VAN AKEN, J. E. Management Research on the Basis of the Design Paradigm: the Quest for Field-tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

VIANA, D. D. **Integrated Production Planning and Control Model for Engineer-to-Order Prefabricated Building Systems**. Porto Alegre, 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

VRIJHOEF, R.; KOSKELA, L. The four roles of supply chain management in construction. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, v. 6, n. 3–4, p. 169–178, 2000.

WANG, W.-C. *et al.* Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68–80,

2014.

WIENDAHL, H.-H.; VON CIEMINSKI, G.; WIENDAHL, H.-P. Stumbling blocks of PPC: Towards the holistic configuration of PPC systems. **Production Planning & Control**, v. 16, n. 7, p. 634–651, 2005.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean Thinking - Banish waste and create wealth in your corporation**. New York: Free Press, 2003.

WORTMANN, H. Comparison of information systems for engineer-to-order and make-to-stock situations. **Computers in Industry**, v. 26, n. 3, p. 261–271, 1995.

YU, Q.; LI, K.; LUO, H. A BIM-based dynamic model for site material supply. **Procedia Engineering**, v. 164, n. June, p. 526–533, 2016.

ZHAI, Y.; ZHONG, R. Y.; HUANG, G. Q. Towards operational hedging for logistics uncertainty management in prefabrication construction. **IFAC-Papers OnLine**, v. 48, n. 3, p. 1128-1133, 2015.

ZHANG, J.; LI, D. Research on 4D Virtual Construction and Dynamic Management System Based on BIM. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2010, Nottingham. **Proceedings...** Nottingham, 2010.

APÊNDICE A – PLANILHA PARA CONTROLE DOS PROCESSOS DE  
MONTAGEM





