

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

**Modelo para planejamento e controle logístico de obras de  
sistemas pré-fabricados do tipo *engineer-to-order* com o uso de  
BIM 4D**

**Rafaela Bortolini**

Porto Alegre  
2015

RAFAELA BORTOLINI

**MODELO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE  
LOGÍSTICO DE OBRAS DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS  
DO TIPO *ENGINEER-TO-ORDER* COM O USO DE BIM 4D**

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  
2015

### CIP - Catalogação na Publicação

Bortolini, Rafaela

Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D / Rafaela Bortolini. -- 2015.

180 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, 2015.

1. Planejamento e controle logístico. 2. Sistemas pré-fabricados. 3. Simulação 4D. 4. Building Information Modeling. I. Torres Formoso, Carlos, orient. II. Título.

**RAFAELA BORTOLINI**

**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, 15 de Abril de 2015

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

Prof. Armando Miguel Awruch  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Mauricio Moreira e Silva Bernardes (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

**Profa. Patricia Tzortzopoulos Fazenda (Universidade de Huddersfield)**  
PhD pela Universidade de Salford / Grã-Bretanha

Dedico este trabalho ao meu irmão (*in memoriam*), que sempre me inspirou a ir atrás dos meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por todo amor, afeto e pelo apoio incondicional à minha formação, sempre me inspirando a crescer tanto pessoalmente como profissionalmente. À minha irmã, pela amizade, sensibilidade e pelo apoio emocional ao longo de todos estes anos. Ao meu irmão (*in memoriam*) pelos momentos que passamos juntos que me inspiram a sempre valorizar os pequenos detalhes da vida e lutar por aquilo que me faz feliz.

Ao Lucas, por todo amor e incentivo que me proporciona todos os dias, por me dar o encorajamento e o otimismo necessário na minha vida na busca de novos desafios e para finalizar este trabalho.

Ao meu orientador Professor Carlos Formoso, pela oportunidade de desenvolver esta pesquisa, por compartilhar seu conhecimento e pelo suporte dado para o desenvolvimento deste trabalho que certamente contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

À Professora Luciana Miron, pelo apoio e pelas oportunidades oferecidas.

Aos colegas do Norie, pelos momentos que passamos juntos, em especial à minha turma de mestrado, à Daniela Dietz pelas contribuições e discussões a respeito deste trabalho e à Fernanda Chaves pela boa amizade e apoio afetivo.

Aos bolsistas de iniciação científica Bárbara Pedó, Caroline Malaggi e Juliana da Silva, que auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

À empresa construtora e seus colaboradores, pela oportunidade e apoio para o desenvolvimento da pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de pesquisa que possibilitou minha total dedicação na realização desta pesquisa.

Não é o que você faz, mas quanto amor você dedica no  
que faz que realmente importa.

*Madre Teresa de Calcutá*

## RESUMO

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

O planejamento e controle logístico cumpre um importante papel no processo de montagem de sistemas construtivos pré-fabricados, e pode ter um impacto substancial nas metas do empreendimento em termos de prazo, custo, qualidade e segurança. A falta de planejamento logístico na construção pode causar congestionamento em postos de trabalho e resultar em baixa produtividade. *Building Information Modeling* (BIM) tem sido apontado como uma grande oportunidade para a melhoria do desempenho da logística de canteiros, principalmente pelo uso de modelos 4D para analisar planos de construção, assim como reduzir conflitos espaciais em canteiros de obras. Entretanto, modelos 4D têm sido frequentemente utilizados simplesmente para representar a sequência de execução definida em uma rede CPM, sem considerar atividades que não agregam valor, tais como estoques e transporte. Visando a preencher esta lacuna, esta pesquisa propõe um modelo para o planejamento e controle logístico para sistemas construtivos pré-fabricados do tipo *engineer-to-order*, utilizando BIM 4D. Pesquisa construtiva foi a abordagem metodológica adotada nesta pesquisa. Quatro estudos empíricos foram realizados em diferentes canteiros de obras de uma empresa de estrutura metálica, nos quais processos logísticos foram planejados e controlados. O estudo também propôs diretrizes para integrar o planejamento logístico ao planejamento e controle da produção e para o uso de gestão visual para apoiar o controle logístico. O modelo proposto sugere que o desenvolvimento e uso de modelos 4D para controle e planejamento logístico deve ter uma ampla participação de diferentes intervenientes.

**Palavras-chave:** Planejamento e controle logístico; sistemas pré-fabricados; canteiro de obra; simulação 4D; *Building Information Modeling*.

## ABSTRACT

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

Logistics planning and control plays a key role in the process of assembling prefabricated building systems, and can have a major impact in project goals in terms of schedule, cost, quality and safety. The lack of construction logistics planning may cause congestion in workspaces and result in low productivity. Building Information Modeling (BIM) has been pointed out as a major opportunity for the improving the performance of site logistics, especially by using 4D models to analyze construction plans as well as to reduce spatial conflicts in construction sites. However, 4D models have been often used simply for representing the installation sequence defined in a CPM network, without considering non value-adding activities, such as inventories and transportation. In order to fill this gap, this research work proposes a logistics planning and control model for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D. Constructive research was the methodological approach adopted in this investigation. Four empirical studies were carried in different construction sites of a steel fabricator company, in which logistic processes were planned and controlled. This study also proposes guidelines for integrating logistics planning and control with production planning and control, and for the use of visual management to support logistics control. The proposed model suggests that the development and use of 4D models for logistics planning and control should have a broad participation of different stakeholders.

**Keywords:** *Logistics planning and control; prefabricated systems; construction site; 4D simulation; Building Information Modeling.*

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Causas das RNC do setor de montagem.....   | 18 |
| Figura 2 - Modelo de transformação (adaptado de Slack, Chambers, Johnston, 2009). ....  | 27 |
| Figura 3 - Etapas do processo de produção no modelo de fluxo (adaptado de Koskela, 1992).<br>.....  | 29 |
| Figura 4 - Representação do sistema de produção (adaptado de Meredith e Shafer, 2002). ...  | 30 |
| Figura 5 - Gerenciamento do sistema de produção (adaptado de Ballard e Howell, 2003)....  | 31 |
| Figura 6 – Componentes-chave da estratégia logística (adaptado de O'Laughlin e Copacino,<br>1994). ....   | 34 |
| Figura 7 – Componentes da gestão logística (adaptado de Agapiou <i>et al.</i> , 1998). ....   | 40 |
| Figura 8 - Dimensão horizontal do planejamento e controle da produção (adaptado de Laufer<br>e Tucker, 1987). ....                                    | 43 |
| Figura 9 – Métodos para criação de modelos 4D (adaptado de Eastman <i>et al.</i> , 2011).....   | 53 |
| Figura 10 - Algumas pesquisas sobre planejamento e controle logístico em canteiro de obra<br>(1989 a 2002). Adaptado de Jang, Lee e Choi (2007). .... | 58 |
| Figura 11 – Elementos da abordagem da pesquisa construtiva (adaptado de Kasanen, Lukka,<br>Siitonen, 1993).....                                       | 64 |
| Figura 12 – Delineamento da pesquisa. ....  | 66 |
| Figura 13 – Critérios para escolha do <i>software</i> de modelagem BIM. ....  | 69 |
| Figura 14 – Fluxo de produtos (materiais e informações) da empresa. ....  | 71 |
| Figura 15 – <i>Softwares</i> envolvidos na modelagem. ....  | 73 |
| Figura 16 – Implantação e fachada do empreendimento L. ....   | 75 |
| Figura 17 – Cronograma de realização do estudo exploratório 1.....  | 77 |
| Figura 18 - Objetivos de cada fonte de evidência.....   | 77 |
| Figura 19 – Imagem do empreendimento M. ....  | 78 |
| Figura 20 – Cronograma de realização do estudo exploratório 2.....  | 79 |
| Figura 21 - Objetivos de cada fonte de evidência.....   | 80 |
| Figura 22 – Implantação do empreendimento N. ....   | 81 |
| Figura 23 – Cronograma de execução do estudo empírico 3. ....   | 83 |
| Figura 24 – Objetivos de cada fonte de evidência. ....  | 84 |
| Figura 25 – Implantação do empreendimento O. ....   | 85 |
| Figura 26 - Cronograma de execução do estudo empírico 4.....  | 86 |
| Figura 27 - Objetivos de cada fonte de evidência.....   | 87 |
| Figura 28 - Constructos, subconstructos, variáveis e fontes de evidência utilizados na<br>avaliação do modelo. ....                                   | 89 |
| Figura 29 – Principais etapas do processo de construção. ....   | 90 |
| Figura 30 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 1. ....   | 94 |
| Figura 31 – Linha de Balanço do empreendimento L.....   | 94 |
| Figura 32 – Painel representando imagens da simulação 4D do empreendimento. ....  | 96 |
| Figura 33 – Coleta de dados do plano logístico. ....  | 97 |
| Figura 34 – Painel de planejamento semanal do canteiro de obra.....   | 98 |
| Figura 35 – Painel para planejamento e replanejamento da logística do canteiro.....   | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 36 – Comparação entre a simulação e a obra real – (a) e (b) zona de perigo cercada; (c) e (d) posição caminhão.....   | 99  |
| Figura 37 – Causas do não cumprimento do planejamento do canteiro. ....  | 100 |
| Figura 38 – Causas do não cumprimento do planejamento de curto prazo. ....   | 101 |
| Figura 39 – Percentual de Pacotes Concluídos.....  | 101 |
| Figura 40 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 2. ....  | 104 |
| Figura 41 – Linha de Balanço do empreendimento M. ....   | 104 |
| Figura 42 – Identificação de conflitos no empreendimento M. ....   | 105 |
| Figura 43 – Painel visual dos três primeiros prédios do empreendimento M. ....   | 106 |
| Figura 44 – Identificação das peças dos diferentes prédios por etiquetas coloridas. ....   | 107 |
| Figura 45 - Comparação processo tradicional com processo desenvolvido neste estudo.....  | 110 |
| Figura 46 – (a) Carregamento em <i>skid</i> e (b) etiquetas coloridas para identificação da etapa. ....  | 112 |
| Figura 47 – Linha de Balanço do empreendimento N. ....   | 113 |
| Figura 48 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 3. ....  | 113 |
| Figura 49 – Ilustração do modelo BIM do <i>layout</i> do empreendimento N. ....  | 114 |
| Figura 50 – Painel do plano logístico do canteiro de obra com imagens da simulação 4D... ..  | 115 |
| Figura 51 – Painel do macro <i>layout</i> do empreendimento. ....  | 116 |
| Figura 52 – Implementação dos painéis em obra. ....  | 117 |
| Figura 53 – Painel empregado no canteiro de montagem. ....   | 117 |
| Figura 54 – Painel inserido em painéis na área de montagem. ....   | 118 |
| Figura 55 – Comparação ferramentas de visualização dos tipos de vigas entre o modelo usado pela empresa X (a) e o modelo BIM 3D sugerido por este trabalho (b). ....                         | 119 |
| Figura 56 - Treliça espacial em BIM 3D. ....   | 119 |
| Figura 57 – Reunião com representantes das empresas que trabalham no canteiro. ....  | 120 |
| Figura 58 – Plano de atividades de interferências entre empresa X e empresa Y. ....  | 121 |
| Figura 59 – Identificação na simulação 4D, do atraso programado para execução de duas passagens.....   | 122 |
| Figura 60 – Comparação da obra real com a simulação 4D.....  | 122 |
| Figura 61 - Tempo de espera para o carregamento ficar completo. ....   | 124 |
| Figura 62 – Análise dos romaneios das cargas.....  | 124 |
| Figura 63 – Aderência à data de entrega e início da execução da atividade de treliças espaciais. ....  | 125 |
| Figura 64 – Aderência à data de entrega e início da execução dos pórticos. ....  | 126 |
| Figura 65 – Comparação da simulação 4D com a execução da obra real – (a e b) posição do descarregamento dos <i>skids</i> ; (c e d) separação em baias; (e e f) vias de pedestres cercadas. . | 127 |
| Figura 66 – Carga com etapas misturadas.....   | 128 |
| Figura 67 – Identificação dos descarregamentos de <i>skids</i> de estrutura e treliça. ....  | 128 |
| Figura 68 – Riscos identificados em 15 descarregamentos.....   | 129 |
| Figura 69 – Carga desbalanceada no <i>skid</i> durante descarregamento.....  | 129 |
| Figura 70 – Avanço físico da atividade de pórtilco. ....   | 130 |
| Figura 71 – Trabalho em progresso da atividade de pórtilco. ....   | 131 |
| Figura 72 – Refinamento do plano de macro <i>layout</i> do empreendimento. ....  | 133 |
| Figura 73 – Mapa do processo analisado. ....   | 134 |
| Figura 74 – Cronograma de execução do processo analisado segunda padrões da empresa. ....  | 135 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 75 – <i>Layout</i> inicial da obra para pré-montagem de treliças (a) e imagem do local (b).<br>.....  | 136 |
| Figura 76 – Análise de tempos iniciais. ....   | 136 |
| Figura 77 – Análise dos tempos do processo de içamento de pórtico e pré-montagem de viga.<br>.....   | 137 |
| Figura 78 - <i>Layout</i> modificado da obra para pré-montagem de treliças (a) e imagem do local<br>(b).....   | 138 |
| Figura 79 – Painel com imagens da simulação 4D do processo.....  | 139 |
| Figura 80 – Comparação da simulação 4D com a execução da obra – (a e b) insumos para pré-<br>montagem; (c e d) sequência de içamento; (e e f) isolamento das etapas.....                 | 140 |
| Figura 81 – Comparação simulação 4D com obra real – ângulo 1.....  | 141 |
| Figura 82 - Comparação simulação 4D com obra real – ângulo 3. ....   | 141 |
| Figura 83 – Análise de tempos . ....   | 142 |
| Figura 84 – Plano execução <i>tilt-up</i> . ....   | 143 |
| Figura 85 – Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 4.....   | 144 |
| Figura 86 - Linha de balanço do empreendimento O. ....   | 144 |
| Figura 87 – Cenário 1 com duas frentes de montagem da direita para a esquerda. ....  | 145 |
| Figura 88 – Cenário 2 com duas frentes de montagem iniciando na direita e no meio do<br>pavilhão. ....   | 145 |
| Figura 89 – Plano logístico do empreendimento. ....  | 146 |
| Figura 90 - Estoques e acessos. ....   | 147 |
| Figura 91 – Planejamento do micro <i>layout</i> de uma etapa. ....   | 148 |
| Figura 92 – Simulação de uma etapa da obra.....  | 149 |
| Figura 93 - Controle de entrega de materiais. ....   | 150 |
| Figura 94 – Avanço físico da execução da estrutura principal.....  | 150 |
| Figura 95 – Trabalho em progresso da atividade da estrutura principal.....   | 151 |
| Figura 96 - Comparação da simulação com a obra real - (a) e (b) montagem das treliças; (c) e<br>(d) organização do <i>layout</i> . ....  | 152 |
| Figura 97 – Conexão do Planejamento e Controle Logístico com o Planejamento e Controle<br>da Produção. ....  | 154 |
| Figura 98 - Atividades do planejamento e controle logístico do empreendimento e dos<br>processos críticos. ....  | 157 |
| Figura 99 - Esforço envolvido na modelagem BIM 4D - (a) número de obras de modelagem<br>dos 4 empreendimentos, (b) número de horas de modelagem considerando um mesmo<br>quadrante. .... | 164 |

## LISTA DE SIGLAS

AIA - *The American Institute of Architects*

BIM – *Building Information Modeling*

CAD – *Computer Aided Design*

CPM – *Critical Path Method*

ETO – *Engineer-to-order*

FIFO - *First-in First-out*

IAI - *International Alliance for Interoperability*

IFC - *Industry Foundation Classes*

IGLC – *International Group for Lean Construction*

JIT – *Just-in-time*

LBS – *Location-based-schedule*

LOB – *Line of Balance*

LoD - *Level of Detail*

LOD - *Level Of Development*

NORIE – Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PPC – Percentual de Pacotes Concluídos

PSP – Projeto do Sistema de Produção

RNC – Relatório de Não Conformidade

SLP – Sistema *Last Planner*

STP – Sistema Toyota de Produção

TFV – Transformação-Fluxo-Valor

## SUMÁRIO

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1       | INTRODUÇÃO.....  | 17 |
| 1.1     | MOTIVAÇÃO.....   | 17 |
| 1.2     | JUSTIFICATIVA .....  | 19 |
| 1.3     | PROBLEMA DE PESQUISA.....  | 21 |
| 1.4     | QUESTÕES DA PESQUISA.....  | 24 |
| 1.5     | OBJETIVOS DA PESQUISA.....   | 24 |
| 1.6     | DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....   | 25 |
| 1.7     | ESTRUTURA DO TRABALHO .....  | 25 |
| 2       | PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE OBRAS .....   | 27 |
| 2.1     | CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO .....   | 27 |
| 2.1.1   | Sistemas de Produção .....   | 29 |
| 2.1.2   | Projeto de Sistemas de Produção.....   | 31 |
| 2.1.3   | <i>Just-in-time</i> .....  | 33 |
| 2.1.4   | Logística.....   | 34 |
| 2.1.5   | <i>Layout</i> .....  | 36 |
| 2.2     | PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE CANTEIROS DE OBRAS .  | 37 |
| 2.2.1   | Planejamento de <i>layout</i> de canteiros de obras.....   | 40 |
| 2.2.2   | Vínculo do PCP com o planejamento e controle logístico .....                                     | 42 |
| 2.2.2.1 | O Sistema <i>Last Planner</i> .....  | 44 |
| 2.2.2.2 | Planejamento baseado na localização.....   | 46 |
| 2.2.3   | Planejamento e controle logístico de sistemas pré-fabricados .....                               | 47 |
| 2.3     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 49 |
| 3       | SIMULAÇÃO BIM 4D .....   | 50 |
| 3.1     | <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> .....   | 50 |
| 3.1.1   | <i>Level of Detail (LoD)</i> e <i>Level Of Development (LOD)</i> .....                           | 51 |
| 3.1.2   | Simulação 4D .....   | 52 |
| 3.2     | ASSOCIAÇÃO DE CONCEITOS BIM E <i>LEAN</i> .....  | 54 |
| 3.2.1   | Interações BIM e <i>Lean</i> para o planejamento e controle logístico de canteiros de obras..... | 55 |
| 3.3     | UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE OBRAS .....       | 57 |
| 3.3.1   | Pesquisas existentes utilizando modelos 4D no planejamento e controle logístico de obras.. ..    | 59 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.4     | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 62 |
| 4       | MÉTODO DE PESQUISA .....   | 63 |
| 4.1     | ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....   | 63 |
| 4.2     | DELINEAMENTO .....   | 65 |
| 4.3     | FASE DE COMPREENSÃO .....  | 68 |
| 4.3.1   | Seleção dos Softwares de Modelagem e Simulação.....                          | 69 |
| 4.3.2   | Treinamento dos softwares .....  | 70 |
| 4.3.3   | Caracterização da empresa.....   | 70 |
| 4.4     | FASE DE DESENVOLVIMENTO.....   | 72 |
| 4.4.1   | Processo de modelagem.....   | 72 |
| 4.4.2   | Métodos e técnicas de coleta e análise de dados .....                        | 73 |
| 4.4.2.1 | Observação Direta e Registro Fotográfico.....                                | 73 |
| 4.4.2.2 | Observação Participante.....   | 74 |
| 4.4.2.3 | Análise de Documentos .....  | 74 |
| 4.4.3   | Estudo Exploratório 1 .....  | 75 |
| 4.4.3.1 | Descrição do empreendimento L.....   | 75 |
| 4.4.3.2 | Métodos e técnicas de coleta de dados .....                                  | 76 |
| 4.4.4   | Estudo exploratório 2.....   | 78 |
| 4.4.4.1 | Descrição do empreendimento M.....   | 78 |
| 4.4.4.2 | Métodos e técnicas de coleta de dados .....                                  | 79 |
| 4.4.5   | Estudo Empírico 3 .....  | 80 |
| 4.4.5.1 | Descrição do empreendimento N .....  | 80 |
| 4.4.5.2 | Métodos e técnicas de coleta de dados .....                                  | 81 |
| 4.4.6   | Estudo Empírico 4 .....  | 85 |
| 4.4.6.1 | Descrição do empreendimento O .....  | 85 |
| 4.4.6.2 | Métodos e técnicas de coleta de dados .....                                  | 86 |
| 4.5     | FASE DE ANÁLISE E REFLEXÃO .....   | 88 |
| 5       | RESULTADOS .....   | 90 |
| 5.1     | PRÁTICAS DE PLANEJAMENTO EXISTENTES .....                                    | 90 |
| 5.1.1   | Visão do processo.....   | 90 |
| 5.1.2   | Processo de carregamento na logística da fábrica e impactos na montagem..... | 91 |
| 5.1.3   | Logística no canteiro de obra .....  | 93 |
| 5.2     | ESTUDO EXPLORATÓRIO 1.....   | 93 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.2.1   | Contribuições do Estudo Exploratório 1 .....   | 102 |
| 5.3     | ESTUDO EXPLORATÓRIO 2.....   | 103 |
| 5.3.1   | Contribuições do Estudo Exploratório 2.....  | 107 |
| 5.4     | DIRETRIZES .....   | 108 |
| 5.5     | ESTUDO EMPÍRICO 3.....   | 109 |
| 5.5.1   | Ferramentas de visualização para o canteiro de obra com base na simulação 4D .....       | 114 |
| 5.5.2   | Análise de interferências com a simulação 4D .....                                       | 119 |
| 5.5.3   | Análise da implementação .....   | 123 |
| 5.5.4   | Fase de refinamento.....   | 131 |
| 5.5.5   | Simulação de um Processo Crítico .....   | 134 |
| 5.5.6   | Conclusões do Estudo Empírico 3.....   | 142 |
| 5.6     | ESTUDO EMPÍRICO 4.....   | 143 |
| 5.6.1   | Planejamento logístico do canteiro de obra .....   | 144 |
| 5.6.2   | Planejamento logístico de um processo crítico .....                                      | 148 |
| 5.6.3   | Análise da implementação .....   | 149 |
| 5.7     | PROPOSIÇÃO DO MODELO .....   | 152 |
| 5.7.1   | Proposição de indicadores.....   | 158 |
| 5.8     | ANÁLISE DO MODELO DESENVOLVIDO.....  | 161 |
| 5.8.1   | Constructo utilidade.....  | 161 |
| 5.8.1.1 | Estímulo ao processo colaborativo do planejamento logístico .....                        | 161 |
| 5.8.1.2 | Redução da necessidade de planejamento de curto prazo .....                              | 162 |
| 5.8.1.3 | Transparência e disponibilidade de informações .....                                     | 162 |
| 5.8.1.4 | Possibilidade de análise de planos alternativos de execução.....                         | 163 |
| 5.8.2   | Constructo Facilidade de Uso .....   | 163 |
| 5.8.2.1 | Contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os participantes ..... | 163 |
| 5.8.2.2 | Participação das pessoas no processo de modelagem BIM 4D.....                            | 163 |
| 5.8.2.3 | Possibilidade de continuação do processo após o estudo .....                             | 164 |
| 5.8.2.4 | Esforço envolvido na modelagem BIM 4D .....  | 164 |
| 6       | CONCLUSÕES .....   | 165 |
| 6.1     | PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....   | 165 |
| 6.2     | RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....   | 170 |

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o escopo da pesquisa, incluindo a motivação inicial para o desenvolvimento deste trabalho, o contexto, o problema de pesquisa, as questões de pesquisa, os objetivos da pesquisa, as delimitações do trabalho e, por fim, a estrutura do trabalho.

## 1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação inicial para o desenvolvimento desta pesquisa foi a identificação de um problema real em conjunto com uma empresa do segmento construtivo de estruturas metálicas, denominada neste trabalho de empresa X. Esta empresa projeta, fabrica e monta estruturas metálicas conforme a demanda por empreendimentos de seus clientes, configurando dessa forma, um sistema *engineer-to-order*. A empresa X tem participado de diversas pesquisas em parceria com o Núcleo Orientado para Inovação da Edificação (Norie) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), desde janeiro de 2011, relacionado à aplicação de conceitos e princípios da produção enxuta. A primeira pesquisa realizada junto à empresa foi a investigação de Fabro (2012) na implementação do Sistema *Last Planner* no setor de montagem.

Fabro (2012) identificou que, com frequência, alguns componentes fabricados não eram localizados nas obras por diversos motivos, dentre eles a falta de identificação dos componentes e erros na listagem de peças enviadas. Os problemas de falta de material em obra são muitas vezes solucionados com um novo pedido de fabricação, o que acaba elevando os desperdícios e causando atrasos na entrega do produto final para os clientes. Ainda, Fabro (2012) apontou que, de maneira geral, as obras não realizavam sistematicamente o planejamento do *layout* do canteiro de obra, sendo os elementos pré-fabricados estocados em locais distantes da montagem, resultando em baixa produtividade. O mesmo estudo indicou que, em empreendimentos com área de canteiro grande, há uma formação de vários pontos de estoque, enquanto em canteiros com áreas pequenas os materiais são estocados mais próximos, mas sem uma organização por etapas.

No início da presente pesquisa, foram feitas observações diretas do processo de montagem em três obras da empresa X em um estudo de diagnóstico. Nestas três obras, foram encontradas

carências na transparência das informações em relação à montagem das obras e no planejamento dos *layouts* de canteiro, causando uma dificuldade de entendimento por parte dos envolvidos (engenheiros, representantes dos clientes, montadores) nas etapas de obra e nas operações de logística. Somando-se a isso, constatou-se que o setor de logística da empresa X também não realiza de forma sistemática um planejamento das cargas a serem enviadas para as obras, sendo normalmente priorizada a meta de minimização dos custos dos fretes.

Além disso, foi realizada uma análise de dados dos relatórios de não conformidade (RNC) da empresa X, que busca identificar condições de identificação, registro e tratamento das não conformidades e definir as responsabilidades pela sua solução. Segundo dados referentes aos meses de janeiro à julho de 2014 da empresa, as principais causas dos RNC no setor de montagem foram: perdas de peças em obra, falhas de conferência do material em obra e a ocorrência de peças danificadas em obra, conforme ilustrado na Figura 1. Estes principais problemas estão associados à logística e a organização dos elementos pré-fabricados no canteiro de obras, o que resulta na elevação de custos para a empresa.

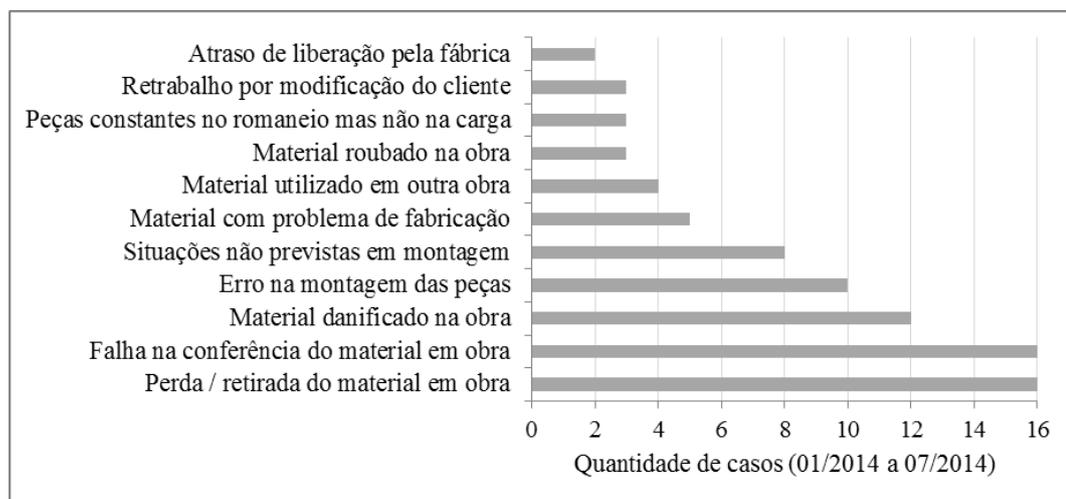


Figura 1 – Causas das RNC do setor de montagem.

Como uma análise geral da empresa X, é possível identificar que cada setor planeja e executa suas atividades visando a atingir suas metas individuais de produção. Além disso, a fabricação dos componentes de cada empreendimento não é organizada na sequência de montagem em obra. Deste modo, há problemas na entrega de materiais, pois os produtos entregues no canteiro nem sempre são aqueles que a obra necessita no momento. Esta situação resulta em atrasos na montagem e um aumento de dificuldade na gestão do canteiro com relação à organização e estoque dos materiais.

Estas observações iniciais apontaram a necessidade de um planejamento de caráter logístico das obras a fim de minimizar as perdas decorrentes de operações excessivas de transporte de materiais e equipamentos e da falta de organização das peças no canteiro de obra. Portanto, o problema real da presente pesquisa visa à melhoria dos processos de logística das obras da empresa X, os quais têm forte interação com as operações de montagem e com a logística da fábrica.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os projetos de construção envolvem o gerenciamento de uma ampla gama de informações e de um tratamento de dados imprecisos devido ao elevado grau de incerteza no setor. Estas incertezas são causadas por diversos fatores, dentre eles fatores ambientais, erros de projeto, mudanças de escopo, falta de informações, falhas na comunicação e atrasos na entrega de materiais (HAJDASZ, 2014). Diante disso, o planejamento logístico da construção é extremamente importante para lidar com estas incertezas e poder alcançar os objetivos de tempo, custo, qualidade e segurança de qualquer edificação.

A logística na construção está relacionada com a melhoria na coordenação e na comunicação entre os participantes, particularmente no controle do processo do fluxo de materiais (AGAPIOU *et al.*, 1998). Said e El-Rayes (2010) definem a logística na construção como a composição de dois módulos: o módulo do fornecimento logístico, o qual foca no planejamento do fornecimento de materiais; e o módulo da logística do canteiro que envolve o planejamento do *layout* do canteiro das áreas de estoque e das instalações temporárias.

O atual contexto da gestão logística na construção civil tem como característica a falta de gerenciamento destas atividades logísticas de forma eficaz (HAWKINS, 2010), sendo as atividades de planejamento do *layout* do canteiro e das principais operações logísticas normalmente realizadas tardiamente. Essa falta de planejamento da logística da construção afeta a produção (AGAPIOU *et al.*, 1998), podendo gerar congestionamento nos espaços de trabalho, comprometer a qualidade da construção e resultar em uma baixa produtividade.

Bertelsen e Nielsen (1997) afirmam que de uma maneira geral, a entrega de materiais raramente é planejada de forma integrada ao processo de construção, resultando em acontecimentos imprevistos, que contribuem para aumentar a variabilidade na obra. Diante disso, os materiais são depositados em áreas de trabalho sem um planejamento prévio, em

quantidades incorretas ou na ordem errada (HAWKINS, 2010) e também uma grande quantidade de material é desnecessariamente armazenada no canteiro de obra (BERTELSEN; NIELSEN, 1997). Esta situação de falta de planejamento resulta na ocorrência de perdas na construção, tais como algumas perdas mencionadas por Ohno (1997) como sendo fundamentais, tais como estoque, espera e transporte, assim como outras perdas tipicamente relacionadas à logística, tais como perda por acidentes, devido à falta de coordenação de rotas de distribuição e equipamentos com a circulação de pessoas no canteiro (HAWKINS, 2010).

Agapiou *et al.* (1998) sugerem que existem muitas oportunidades para aumentar a produtividade do processo de construção por meio do planejamento logístico. Tommelein (1994) aponta a importância de melhorar os fluxos nos canteiros de obra por meio da modelagem da movimentação de materiais e o planejamento do fornecimento dos materiais ao longo da construção. O planejamento e controle logístico de obras é necessário para facilitar a fase de construção, tendo os seguintes objetivos: limitar o transporte de materiais dentro do limite do canteiro; evitar estoques no canteiro; evitar perdas de materiais; e diminuir os danos durante a construção (AGAPIOU *et al.*, 1998).

No contexto de sistemas pré-fabricados de empresas do tipo *engineer-to-order* (ETO), Matt, Dallasega e Rauch (2014) afirmam que o processo de manufatura dos componentes na fábrica, tradicionalmente é desconectado do processo de montagem no canteiro de obra, o que traz como efeito a geração de lotes grandes de produção. Além disso, os mesmos autores apontam que a sequência de montagem dos empreendimentos das empresas de sistema ETO, é muitas vezes determinada pela tentativa de minimização do custo de transporte. Muitos empreendimentos que utilizam pré-fabricados tendem a ser complexos e grandes, e diante disso deve haver uma significativa comunicação entre todas as partes para coordenar a sequência de montagem com as entregas dos materiais (TOMMELEIN; WEISSENBERGER, 1999).

Diante da complexidade e da natureza dinâmica da construção de obras de pré-fabricados, bem como das dificuldades impostas pelas operações no canteiro de obra, existe a necessidade de dar mais ênfase à logística no planejamento e na gestão da produção, particularmente em sistemas construtivos pré-fabricados. Há necessidade de planejar o *layout* do canteiro, considerando que o ambiente da construção inclui muita incerteza e variabilidade (JANG, LEE e CHOI, 2007), assim como dar mais atenção à estocagem de componentes e às operações de transporte na obra.

Algumas oportunidades de melhoria surgiram devido ao rápido avanço das tecnologias da informação e comunicação, particularmente o *Building Information Modeling* (BIM<sup>1</sup>). Oskouie *et al.*, (2012) afirmam que a utilização de ferramentas BIM para logística e *layout* de canteiro de obra cria a possibilidade de simular alternativas para discutir e avaliar opções, a fim de estabelecer a melhor solução para execução de uma obra. Akinci, Fischer e Zabelle (1998) afirmam que essas considerações podem ser alcançadas através da utilização de modelos 4D, que consistem na associação de modelos BIM 3D com o tempo.

Algumas pesquisas destacam o potencial do uso dos modelos 4D no planejamento do canteiro, por permitir a visualização da sequência de execução da obra, a possibilidade de simular cenários alternativos a serem testados antes de serem executados, e a visualização de potenciais problemas logísticos (AKINCI *et al.*, 2002; CHAU *et al.*, 2004; HARTMANN *et al.*, 2008).

Apesar da popularidade dos modelos BIM, o número de estudos que exploraram a utilização na fase de construção e gestão da produção é relativamente pequeno, em relação a outras aplicações (EADIE *et al.* 2013). Além disso, Lucko, Alves e Angelim, (2013) sugerem que mais pesquisas são necessárias para explorar o uso da programação baseada em localização em modelos 4D e buscar contribuições para a melhoria dos indicadores de produção.

Com o reconhecimento de que a logística desempenha um papel importante para coordenar e controlar a interação entre as áreas de trabalho no canteiro de obra em constante mudança, os equipamentos e o grande número de materiais e componentes envolvidos, existe a necessidade investigar a utilização de BIM no planejamento e controle logístico de obras.

### 1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Dentro deste contexto, de planejamento e controle logístico de obras, existem muitos problemas a serem investigados e diversos conceitos de planejamento da construção precisam ser levados em conta. O alcance de um fluxo de trabalho eficaz e com o mínimo de desperdício, requer não apenas um planejamento da construção adequado, mas também a efetiva gestão da produção (SACKS *et al.*, 2010). Diante disso, há a necessidade de organizar o planejamento envolvendo todas as partes interessadas para colaborativamente alinhar planos de atividades e projetos individuais (TREBBE; HARTMANN; DORÉE, 2015).

---

<sup>1</sup> BIM pode ser traduzido como Modelagem da Informação da Construção.

A seleção do método de construção e do planejamento logístico do espaço ao longo do tempo são peças-chaves para um projeto de construção eficiente (ZOUËIN; TOMMELEIN, 2001; WANG *et al.*, 2004) e para atender os diversos e cada vez mais exigentes requisitos de desempenho impostos pelas equipes de obra (HAWKINS, 2010). No entanto, no contexto do planejamento do canteiro de obra, os processos ainda são dominados por papel na forma de desenhos ou no uso de notas de papel e formulários para capturar informações (DAVIES; HARTY, 2013). Normalmente, os planejadores de obras utilizam desenhos em 2D (duas dimensões) para definir a logística da área de trabalho e utilizam gráficos de barras ou rede de caminho crítico (CPM<sup>2</sup>) para prever a sequência de execução do empreendimento (WANG *et al.*, 2004; CHAU *et al.*, 2004). Sem a integração de dados e sem uma representação visual do canteiro de obra no decorrer do tempo, os planejadores devem confiar na sua experiência e intuição para decidir o método adequado para a construção da logística do canteiro (WANG *et al.*, 2004).

Em vista disso, o *layout* das áreas de armazenamento de materiais e das instalações temporárias precisa de um planejamento cuidadoso a fim de minimizar os custos de deslocamento e movimentação de recursos, além de respeitar as restrições operacionais e de segurança (SAID; EL-RAYES, 2013). Pesquisas recentes têm sido realizadas para desenvolver métodos de gestão do canteiro de obras, tais como: gerenciamento do canteiro de construção em projetos repetitivos (HAJDASZ, 2014), gerenciamento do canteiro de sistemas industrializados (ISMAIL; BAHARUDDIN; MARHANI, 2013), planejamento de *layout* dinâmico (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013). Contudo, as pesquisas não descrevem a forma de implementar o planejamento no canteiro ou sugerem ferramentas que podem ser utilizadas no *layout* do canteiro nas diferentes fases do planejamento da produção.

Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) consideram que as aplicações 4D tem um grande potencial para o planejamento do canteiro. Além disso, os referidos autores abordam que algumas das necessidades do planejamento da produção e do projeto do sistema de produção podem ser facilitadas através da associação de princípios da produção enxuta com as funcionalidades BIM (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Enquanto a produção enxuta é uma abordagem de gestão focada na criação de valor para o cliente, através da eliminação de atividades que não agregam valor, o BIM é focado na aplicação da tecnologia da informação para aumentar a colaboração entre os participantes do projeto em todo o ciclo de vida (BHATLA; LEITE, 2012). Segundo Dave *et al.* (2013), o BIM contribui diretamente

---

<sup>2</sup> CPM é uma abreviação do termo em inglês *critical path method*, que pode ser traduzido como método do caminho crítico.

para os objetivos da produção enxuta, como, por exemplo, por meio da visualização de modelos de diferentes disciplinas para identificar conflitos, de forma a evitar perdas de materiais, retrabalhos ou atrasos. No entanto, a literatura aponta a necessidade de desenvolvimento de trabalhos empíricos que mostrem suas aplicações de maneira integrada em empreendimentos de construção (BHATLA; LEITE, 2012).

Algumas pesquisas tem sido realizadas focando no desenvolvimento de modelos 4D (RUSSELL *et al.* 2009; MOON *et al.* 2014; WANG *et al.* 2014). Porém, tradicionalmente, os planos utilizados em modelos 4D são os baseados em atividades, chamados de rede CPM (JONGELING; OLOFSSON, 2007). A rede CPM mostra as relações lógicas entre as atividades, porém, tradicionalmente os usuários não modelam as relações de espaço que existem entre as atividades (AKINCI; FISCHER; ZABELLE, 1998).

Como a rede CPM relaciona apenas a sequência de atividades de conversão, isso implica que o tempo perdido entre as transformações (o fluxo) seja ignorado (SEPPÄNEN, 2009). Tommelein (1994) reforça que, tradicionalmente, o foco na construção tem sido dado em melhorar as operações de conversão, introduzindo mudanças tecnológicas para aumentar a conversão e ignorando-se o fluxo. No entanto, Koskela (2000) defende que deve-se adaptar a filosofia da *Lean Production* para o contexto da construção civil e considerar os fatores relacionados ao fluxo no projeto do sistema de produção a fim de eliminar falhas na produção, reduzir retrabalhos e, conseqüentemente, aumentar ganhos com qualidade e produtividade (KOSKELA, 2000). Sendo assim, a rede CPM não considera informações suficientes relativas ao contexto espacial e a complexidade da construção (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

Além desta restrição do uso tradicional dos modelos 4D, existe um desafio em fornecer as informações dos modelos com dispositivos eletrônicos que possam dificultar o acesso a informação e a produtividade da equipe de trabalho no canteiro de obra (SACKS *et al.*, 2010). Segundo Sacks *et al.* (2010), ferramentas BIM que permitem três e quatro dimensões de visualização do produto da construção, comunicam efetivamente a intenção do projeto. Contudo, Sacks *et al.* (2009) abordam a necessidade de trazer esse planejamento para a gestão da produção durante a fase de construção. Essa necessidade advém da dificuldade das condições físicas dos locais de construção que tornam difícil a formação de uma imagem mental clara do que está acontecendo e o que pode ser esperado no futuro. Diante disso, Sacks *et al.* (2009) afirmam que interfaces de visualização baseadas em BIM são eficazes para proporcionar transparência no processo.

Diante do exposto, a literatura afirma que há poucas pesquisas que analisam a combinação do modelo do produto da construção com o modelo do processo construtivo, o qual inclui a adição de atividades que não agregam valor, tais como transporte e estoque. Além disso, o método tradicional dos modelos 4D implicam a utilização da rede CPM, a qual não contempla informações de fluxo da construção. Por fim, poucas pesquisas levam de fato o planejamento dos modelos 4D para o canteiro de obra e analisam sua implementação. No caso de sistemas ETO, a literatura afirma que existem muitas perdas na produtividade devido à falta de componentes, o que acaba causando interrupções na montagem e, conseqüentemente, uma mudança de tarefas programadas deve ocorrer levando a reorganização os materiais ou equipamentos no local (atividades que não agregam valor) (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Em vista disso, existem oportunidades de melhoria no planejamento e controle logístico de obras de pré-fabricados com o uso de modelos 4D associados a princípios da produção enxuta para permitir uma melhoria do desempenho do sistema de construção em canteiros de obras.

#### 1.4 QUESTÕES DA PESQUISA

A principal questão de pesquisa deste trabalho é: como implementar o planejamento e controle logístico de obras em sistemas pré-fabricados do tipo ETO, com o uso de BIM 4D?

Como desdobramento desta questão, chegou-se às seguintes questões secundárias:

- a) Como implementar dispositivos visuais no canteiro de obra para apoiar o planejamento e controle logístico com o uso de modelos BIM?
- b) Como medir o desempenho no planejamento e controle logístico de obra?
- c) Como integrar o planejamento e controle da produção e da logística do canteiro de obra?

#### 1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa consiste em propor um modelo para planejamento e controle logístico de obras em sistemas pré-fabricados do tipo ETO, com o apoio de BIM 4D.

Em vista da identificação deste objetivo principal foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- a) Propor formas de gerar dispositivos visuais no canteiro de obra a partir do uso de modelos BIM 4D.
- b) Propor indicadores para avaliar o desempenho do planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados.
- c) Propor a integração entre o planejamento e controle da produção e da logística do canteiro de obra.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Os estudos que compõem este trabalho foram desenvolvidos em empreendimentos de estruturas metálicas pré-fabricadas. Tendo em vista esta limitação, não é possível generalizar de forma direta seus resultados para outros tipos de construções e contextos na construção civil, principalmente no que se refere ao modelo proposto.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos. O presente capítulo apresentou a motivação inicial, a justificativa, o problema de pesquisa, as questões de pesquisa, os objetivos da pesquisa e a delimitação do trabalho.

No capítulo dois é apresentada uma revisão bibliográfica acerca da gestão do sistema de produção com conceitos fundamentais no campo da construção. São apresentados os conceitos gestão logística de canteiros de obra e o vínculo do planejamento logístico com o planejamento e o controle da produção. O capítulo tem sequência com a caracterização do planejamento logístico de obras de pré-fabricados.

O capítulo três apresenta uma revisão bibliográfica acerca do conceito de simulação 4D. O capítulo tem início com a apresentação do conceito de *Building Information Modeling* (BIM) e uso associado de ferramentas BIM com princípios da produção enxuta. O capítulo ainda apresenta as pesquisas existentes no planejamento e controle logístico com o uso de modelos 4D.

O capítulo quatro apresenta o método de pesquisa utilizado no trabalho, contendo a descrição da estratégia de pesquisa adotada, o delineamento e a descrição das fases que compõem a pesquisa. O método utilizado para a realização dos estudos exploratórios e dos estudos

empíricos é apresentado, bem como a caracterização da empresa e a seleção dos *softwares* utilizados. Em seguida, são apresentados os métodos e técnicas para coleta e análise dos dados para cada estudo realizado.

O capítulo cinco descreve o desenvolvimento dos estudos. Os estudos exploratórios são descritos com a apresentação das atividades desenvolvidas, finalizando com a proposição de diretrizes para o planejamento e controle logístico. Em sequência, o capítulo aborda o desenvolvimento dos estudos empíricos 3 e 4, com a descrição detalhada das atividades realizadas. O capítulo finaliza com a proposição do modelo de planejamento e controle logístico e a avaliação do modelo.

O capítulo seis apresenta as conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE OBRAS

Este capítulo trata de conceitos fundamentais do planejamento e controle logístico no contexto da construção civil. Para contextualização do trabalho, primeiramente são apresentados os conceitos de gestão e projeto do sistema de produção, conceituando e definindo o escopo de decisões que devem ser tomadas na sua realização com destaque para a logística e *layout*. Na segunda parte do capítulo, discute-se o planejamento logístico de canteiros de obras, incluindo seu vínculo com o planejamento e controle da produção e o planejamento e controle logístico no contexto de sistemas pré-fabricados.

### 2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO

Em contraponto à abordagem tradicional de gestão da produção, alguns autores têm criticado a visão de processo como transformação. A Figura 2 apresenta o modelo de transformação, na qual a produção envolve um conjunto de recursos de *input* usado para transformar algo ou para ser transformado em *outputs* de bens e serviços (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Koskela (2000) aponta que os princípios desta abordagem foram concebidos no surgimento da filosofia da produção em massa, no começo do século XX. São eles: a decomposição do processo de transformação em subprocessos menores; o custo da produção pode ser minimizado através da minimização do custo de cada subprocesso individualmente; e é vantajoso o uso intensivo de *buffers* de produção.



Figura 2 - Modelo de transformação (adaptado de Slack, Chambers, Johnston, 2009).

Howell e Koskela (2000) afirmam que a aplicação do modelo de transformação no contexto dos empreendimentos da construção apresenta diversas deficiências. Primeiramente, não é reconhecida a existência de outros fenômenos na produção além da transformação. Segundo, o modelo de transformação não reconhece que não é a transformação propriamente que agrega valor ao produto, mas que o produto torna-se valioso por atender os requisitos do cliente (HOWELL; KOSKELA, 2000). A visão de transformação não é útil para entender como não utilizar recursos de produção desnecessariamente ou como assegurar que os requisitos do cliente sejam alcançados da melhor maneira (HOWELL; KOSKELA, 2002).

Desta forma, os mesmos autores afirmam que a produção gerenciada com base na visão da transformação torna-se ineficiente e ineficaz.

Koskela (2000) propõe um novo modelo de produção, criticando o tradicional conceito de transformação. 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) na construção. O STP nasceu da necessidade de reduzir custos no Japão, pois o país enfrentava um período pós Segunda Guerra Mundial com a economia devastada. Neste período de reconstrução do país, o presidente da *Toyota Motor Company*, Kiichiro Toyoda, propôs um desafio ao engenheiro de produção Taiichi Ohno, o qual consistia em chegar aos mesmos níveis de produtividade das montadoras norte-americanas em um período de três anos de forma a contribuir para a sobrevivência da indústria automobilística japonesa (OHNO, 1997). A partir deste desafio, se originou o STP que posteriormente na publicação do livro de Womack *et al.* (1992) denominado “A máquina que mudou o mundo”, os referidos autores propuseram a expressão Produção Enxuta (*Lean Production*) como uma tentativa de generalizar o STP. A partir da publicação de Lauri Koskela sobre a adaptação dos conceitos da produção enxuta para a construção, uma comunidade internacional, formada por acadêmicos e profissionais da indústria da construção, denominada Grupo Internacional da *Lean Construction* (IGLC), vem estudando a aplicação de conceitos originários do STP na indústria da construção.

Para Koskela (2000) há uma dimensão da produção que não é capturada pelo modelo de transformação, ou seja, o que acontece entre as transformações, propondo duas hipóteses: as atividades de transformação não estão sendo consideradas ou todas as atividades são vistas como atividades de transformação. Shingo (1996) define dois tipos de atividades, as que agregam valor e as que não agregam. As atividades que agregam valor transformam a matéria-prima em produto, ou seja, passam por processamento (SHINGO, 1996). Koskela (2000) afirma que estas atividades que não são consideradas pelo modelo tradicional de produção, são atividades que não agregam valor, tais como movimentação, inspeção e espera. No entanto, justamente por não adicionarem valor, estas atividades merecem atenção para otimização do processo como um todo (KOSKELA, 2000).

Desta maneira, Koskela (2000) propõe um modelo de produção considerando três conceitos de processo: transformação, fluxo e valor. A teoria proposta por Koskela (2000), chamada de teoria TFV, sugere a necessidade de utilizar as três conceituações de forma integrada e

balanceada. No conceito de fluxo da produção proposto por Koskela (2000), a estrutura básica é a eliminação de perdas do processo. Segundo Koskela (1992), o fluxo é formado pelas atividades de processamento (transformação), inspeção, movimentação e espera (Figura 3).

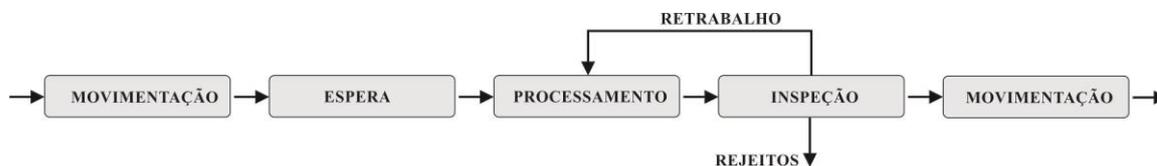


Figura 3 - Etapas do processo de produção no modelo de fluxo (adaptado de Koskela, 1992).

Para gestão da produção, Koskela (2000) propôs seis princípios relacionados à visão da produção como fluxo:

- Reduzir as atividades que não agregam valor: eliminar os desperdícios (perdas);
- Reduzir o *lead time*<sup>3</sup>: através da redução do tamanho do lote e das atividades que não agregam valor;
- Reduzir a variabilidade: se relaciona com a necessidade de eliminar desperdícios, uma vez que a variabilidade tende a adicionar atividades que não agregam valor nos processos;
- Simplificar através da minimização do número de passos e partes: torna a produção menos suscetível a problemas de qualidade e possibilita a eliminação de atividades que não agregam valor;
- Aumentar a flexibilidade: aumenta o valor sem reduzir substancialmente a eficiência do sistema de produção;
- Aumentar a transparência: tornar os erros mais visíveis para que possam ser rapidamente resolvidos.

Ballard *et al.* (2001) afirmam que na teoria TFV a produção deve ser vista como um conjunto de fluxos de materiais e informações, cujo objetivo principal é a geração de valor para o cliente.

### 2.1.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Hopp e Spearman (1996) definem sistema de produção como uma rede de processos orientados por um objetivo, através da qual entidades fluem. Alguns aspectos importantes para esta definição devem ser considerados (HOPP; SPEARMAN, 1996):

<sup>3</sup> *Lead time* é o tempo entre o momento de entrada do material até à sua saída do inventário.

- O sistema de produção é composto por processos físicos ou gerenciais;
- Entidades são as partes sendo manufaturadas e também são informações utilizadas para controlar o sistema;
- O fluxo das entidades através do sistema descreve como os materiais e as informações são processadas, sendo o gerenciamento destes fluxos a principal atividade da gestão da produção;
- O sistema de produção é uma rede de partes que interagem, e a gestão destas interações é mais importante do que a gestão individual dos processos e entidades.

Para Elsayed e Boucher (1994), um sistema de produção é caracterizado pela forma como estes elementos são organizados, sendo constituído por três elementos fundamentais. O primeiro se refere à base tecnológica a ser utilizada no sistema, representada por máquinas ou ferramentas decididas no longo prazo pela empresa. O segundo elemento refere-se à organização física do sistema de produção, ou seja, o *layout* de como estão dispostos os trabalhadores e as máquinas. Por último, Elsayed e Boucher (1994) apontam as técnicas de gestão da produção utilizadas para análise e controle do sistema. Neste terceiro elemento são definidos quais os produtos, bem como a quantidade e o tempo de produção.

Meredith e Shafer (2002) caracterizam um sistema de produção como a forma com que os elementos constituintes se relacionam. Os mesmos autores definem os principais elementos de um sistema de produção: o ambiente no qual se insere, os insumos, os sistemas de transformação, os produtos e os mecanismos para controlar e monitorar o sistema. A Figura 4 apresenta a proposta de representação do sistema de produção de Meredith e Shafer (2002).

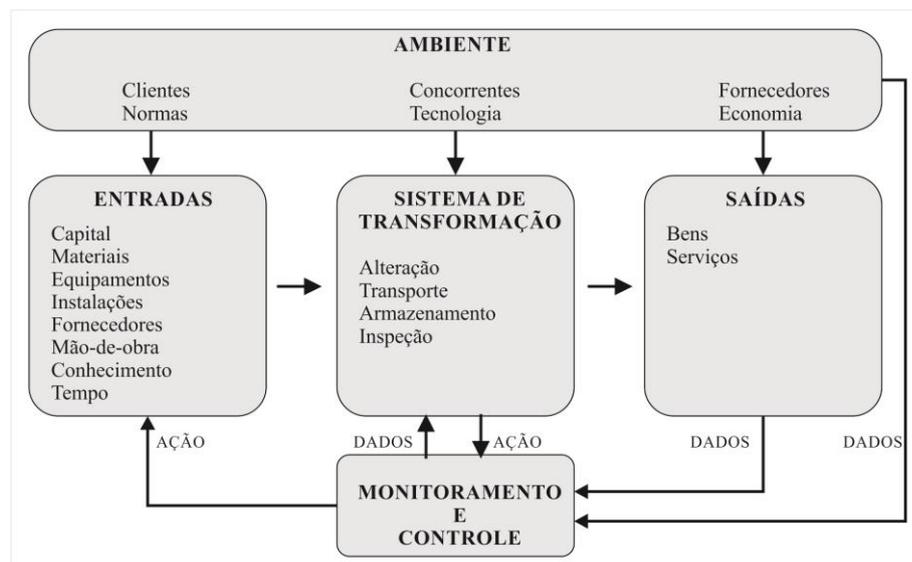


Figura 4 - Representação do sistema de produção (adaptado de Meredith e Shafer, 2002).

Ainda, segundo Meredith e Shafer (2002), este modelo constitui-se de elementos ou aspectos externos ao sistema de produção que não podem ser controlados, porém devem ser considerados. É necessário monitorar o sistema de produção e tomar ações corretivas se o sistema não estiver operando com o objetivo proposto (MEREDITH; SHAFER, 2002). Dessa forma, a partir de uma coleta e análise de dados do sistema, são direcionadas ações aos insumos e/ou ao sistema de transformação (MEREDITH; SHAFER, 2002).

Segundo Ballard e Howell (2003), a gestão do sistema de produção de empreendimentos pode ser dividida em três principais atividades: projetar, operar e melhorar o sistema (Figura 5). Os mesmos autores definem que operar envolve planejar, controlar e corrigir. Segundo os mesmos autores, planejar se refere a definir metas específicas para o sistema, controlar é avançar em direção a esses objetivos e corrigir é mudar o meio a ser utilizado ou os objetivos que estão sendo seguidos. Assim, sistemas de produção são projetados para alcançar três objetivos: entregar o produto, maximizar valor e minimizar desperdício (BALLARD; HOWELL, 2003).



Figura 5 - Gerenciamento do sistema de produção (adaptado de Ballard e Howell, 2003).

### 2.1.2 PROJETO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO

O projeto do sistema de produção (PSP) busca delinear e descrever os processos específicos a serem utilizados na produção (GAITHER; FRAZIER, 2001). Como resultado dos estudos do sistema de produção, encontra-se a determinação das etapas do processo tecnológico a ser utilizado; a escolha dos equipamentos; o projeto de construções e o *layout* das instalações; e a necessidade de pessoal, suas habilidades e o nível de supervisão (GAITHER; FRAZIER, 2001). Portanto, entender o sistema de produção da construção civil é fundamental para apoiar o planejamento logístico do canteiro de obra.

O escopo de decisões que compõem o projeto do sistema de produção na construção civil foi definido por Schramm (2009) com base em seis etapas: definição da sequência de execução e dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base (modo de repetição); estudo dos

fluxos de trabalho da unidade-base; definição da estratégia de execução do empreendimento; estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento; dimensionamento da capacidade dos equipamentos e mão-de-obra; identificação e projeto dos processos críticos.

Considerando o escopo deste trabalho, foram consideradas apenas algumas das etapas que compõem o PSP. Esta escolha foi definida em função das atividades do PSP que estão diretamente relacionados nas definições do planejamento logístico de canteiros de obra. As atividades consideradas foram: a definição da sequência de execução da produção, o estudo dos fluxos de trabalho e a identificação de processos críticos.

Na definição da sequência de execução, ou seja, da estratégia de ataque do empreendimento, são geralmente simuladas e analisadas inúmeras alternativas de execução para a escolha da mais adequada em função de diferentes aspectos: (a) impacto no prazo final de execução do empreendimento; (b) capacidade de fornecimento dos fornecedores de suprimentos; (c) limites de capacidade de produção dos processos críticos (gargalos) para atender a demanda gerada pela alternativa; e (d) viabilidade financeira da alternativa escolhida, em função do volume de recursos de produção necessários para a sua consecução (SCHRAMM, 2009).

No estudo dos fluxos de trabalho, Schramm (2009) afirma que esta etapa visa considerar um plano que permita um fluxo ininterrupto das equipes de produção, através da sincronização entre processos, principalmente com relação àqueles processos considerados críticos para o sistema de produção.

A identificação e projeto de processos críticos refere-se a um estudo detalhado daqueles processos que representam os gargalos do sistema de produção, ou seja, cujas capacidades individuais limitam ou podem vir a limitar a capacidade de produção do sistema como um todo (COX; SPENCER, 2002). Schramm (2009) afirma que alguns processos merecem uma maior dedicação quanto a sua preparação e execução a fim de minimizar os efeitos negativos que estes possam vir a acarretar ao sistema de produção. Rodrigues (2006) sugere a utilização de várias ferramentas para auxiliar no estudo de processos críticos como forma de antecipar a identificação de problemas e melhorar o seu desempenho, assim como de outros processos que dependem de sua execução. Dentre as ferramentas sugeridas por Rodrigues (2006) está o uso de protótipos virtuais.

### 2.1.3 JUST-IN-TIME

Dentre os princípios da produção enxuta, o *just-in-time* (JIT) é considerado como sendo um dos pilares de sustentação do STP (OHNO,1997). Para a cadeia de abastecimento de um canteiro de obra, o JIT é importante pois existe um desafio em controlar os níveis de estoque procurando harmonizar os ritmos de fornecimento e demanda (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009). Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o JIT significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos, para que não formem estoques, mas também para que os clientes não tenham que esperar. Segundo os mesmos autores, no sistema JIT o estoque é visto como um dano sobre o sistema de produção, pois evita que os problemas sejam descobertos e que suas causas sejam atacadas.

Shingo (1996) afirma que a abordagem JIT pode ser adotada no planejamento logístico, o qual se baseia no princípio de que qualquer insumo só deve chegar ao local em que foi requisitado na quantidade certa, na qualidade certa e no momento exato da sua solicitação, ou seja, uma produção sem estoque. Dessa maneira, o JIT busca o fluxo contínuo no sistema de produção. Um processo de fluxo contínuo é um tipo de linha de produção na qual o trabalho é avançado de uma estação de trabalho para outra com base em um *first-in, first-out* (FIFO<sup>4</sup>) (BALLARD; TOMMELEIN, 1999). O objetivo é equilibrar aproximadamente as taxas de processamento das diferentes estações de modo que todas as equipes e equipamentos possam realizar um trabalho produtivo quase ininterruptamente, enquanto apenas uma pequena quantidade de trabalho em progresso acumula-se no meio destes postos (BALLARD; TOMMELEIN, 1999).

Alguns trabalhos vêm discutindo a aplicabilidade do JIT na construção civil e o papel da logística de canteiro de obra. Dentre eles, Akintoye (1995) discute a aplicabilidade do sistema JIT no fluxo de materiais na construção. O referido autor afirma que o sistema JIT consiste em uma relação entre diversos fornecedores e vendedores, na qual os materiais são requisitados em pequenas quantidades com uma frequência de entregas ao canteiro conforme planejado para a produção. Para isso, os fornecedores, que possuem diferentes características e diferentes sistemas de distribuição, devem cumprir com estimativas de demandas. Na implementação do sistema JIT na construção, deve-se analisar para cada tipo de material as especificações do contrato com os fornecedores, a forma de suprimento para o canteiro, o

---

<sup>4</sup> FIFO é um tipo de fila, na qual os elementos vão sendo colocados na fila e retirados (ou processados) por ordem de chegada.

sistema de distribuição a ser adotado e a periodicidade da entrega dos materiais (AKINTOYE, 1995). Bertelsen e Nielsen (1997) propuseram a criação de pacotes de materiais, chamados de unidades, dimensionados na quantidade certa para ser usado em um dia. Tais autores observaram melhorias com relação à produtividade de montagem e redução no ciclo de produção.

Com a implementação de sistemas JIT em obras, passa a existir um potencial para a redução do tempo de entrega da obra, entretanto, alguns aspectos de gestão das empresas e das obras devem ocorrer, tais como (AKINTOYE, 1995): (a) comunicação eficaz entre contratante e fornecedores parceiros da cadeia de suprimentos; (b) integração entre projeto do produto e do processo; (c) planejamento do *layout* do canteiro; e (d) treinamento e educação dos operários e dirigentes para trabalhar sob estes princípios.

#### 2.1.4 LOGÍSTICA

Logística pode ser definida como um processo de gestão estratégica da aquisição, movimentação e armazenagem de materiais maximizando os custos sem comprometer a eficácia do sistema (CHRISTOPHER, 2011). Segundo O'Laughlin e Copacino (1994), uma estratégia logística é composta por dez componentes-chave, que podem ser divididos em quatro níveis diferentes e devem ser desenvolvidos de maneira integrada e coordenada. Estes componentes foram identificados e representados em uma pirâmide na Figura 6.



Figura 6 – Componentes-chave da estratégia logística (adaptado de O'Laughlin e Copacino, 1994).

Esta pirâmide foi elaborada para uma empresa genérica, mas pode ser perfeitamente aplicável a uma empresa de construção. No topo da pirâmide, o serviço ao cliente direciona a estrutura de toda a cadeia de suprimentos. Inicia-se com um claro entendimento da demanda do cliente para desenvolver uma estratégia de serviço que possa ir ao encontro das suas expectativas (O'LAUGLIN; COPACINO, 1994). Após o entendimento destes requisitos, é necessário entender como alcançá-los. Os componentes seguintes fazem parte da estratégia estrutural. Neste nível, encontra-se a definição do projeto da cadeia logística e da infraestrutura de suporte a essa cadeia (O'LAUGLIN; COPACINO, 1994).

No segundo nível encontram-se os componentes funcionais, aqueles que envolvem o projeto das áreas de estoque e operações, a gestão de transporte e a gestão dos suprimentos (O'LAUGLIN; COPACINO, 1994). Já na base da pirâmide encontram-se os componentes implementacionais ou operacionais, constituindo a base da estratégia logística. Neste nível está o sistema de informação de apoio à logística, as políticas e procedimentos que vão guiar as operações logísticas, as instalações e os equipamentos e a gestão da organização destas atividades (O'LAUGLIN; COPACINO, 1994).

Trazendo o termo para o contexto da construção civil, a logística pode ser considerada como um processo que envolve várias organizações, relacionado à entrega dos recursos necessários no tempo certo, sem aumentar o custo e sem prejudicar a qualidade (SILVA; CARDOSO, 1998). Briscoe *et al.*, (2004) afirmam que a logística deve abranger a gestão dos materiais através da integração do fornecimento, armazenamento e manuseio dos materiais, a localização das instalações temporárias e dos equipamentos no canteiro; a gestão dos fluxos físicos e a gestão da informação.

A logística desempenha um papel vital no apoio aos trabalhadores em um canteiro de obras por coordenar e controlar a complexa interação que existe entre processos, os quais são executados por uma força de trabalho grande e variada, em áreas de trabalho que sofrem frequentes mudanças, envolvendo um grande número de veículos, instalações, equipamentos e materiais (HAWKINS, 2010).

Segundo Nilsson (2006), uma logística eficaz de construção deve proporcionar um sistema de tomada de decisão que integre o transporte, estoques, espaço de armazenamento e outras

atividades relacionadas. Essas decisões são sistêmicas à medida que uma afeta a outra e envolvem *trade-offs*<sup>5</sup> de custos e de serviços na cadeia de abastecimento (NILSSON, 2006).

### 2.1.5 LAYOUT

Saurin (1997) afirma que o planejamento da logística deve ser integrado ao planejamento do *layout*, a fim de garantir o fornecimento das condições de infraestrutura necessárias para o bom funcionamento dos processos relacionados às instalações de canteiro. Slack, Chambers e Johnston (2009) definem *layout* de uma operação produtiva, também chamado de arranjo físico, como a definição de onde colocar instalações, máquinas, equipamentos e pessoas da produção.

O projeto do *layout* possui o desafio de refletir a dinâmica do local ao longo de um projeto de construção (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013). Os *layouts* de construção são muito mais dinâmicos se comparados aos de uma fábrica, pois nestes as máquinas estão paradas e normalmente processam um só produto (CHOO; TOMMELEIN, 1999). Os canteiros de obra sofrem modificações com muita frequência, pois as frentes de trabalho e os materiais se movimentam e os espaços modificam-se ao longo da execução das atividades (CHOO; TOMMELEIN, 1999). Diante disso, Tommelein (1994) afirma que os desvios do plano do canteiro de obra surgem por vários motivos, incluindo: a incerteza sobre o calendário de entregas; a falta de comunicação de dados; as discrepâncias entre as datas estimadas; a disponibilidade de material; as características do material e a imposição de requisitos de gerenciamento; os danos e perdas de material e a insuficiência do espaço disponível.

As atividades de construção mudam à medida que a obra avança e os materiais entram em momentos diferentes, ocupam espaço no canteiro em diferentes períodos de tempo, e deixam o local quando não são mais necessários (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013). Para entender como os projetos de *layout* variam ao longo do tempo, é necessário entender as vantagens e desvantagens de cada modelo de *layout* existente. A seguir, são apresentados três categorias modelos de *layout* de canteiro: estáticos, faseados e dinâmicos.

Segundo Andayesh e Sadeghpour (2013), os primeiros modelos de *layout* ignoravam as mudanças que ocorriam no canteiro de obra, era então gerado apenas um plano de *layout* para toda a duração do projeto. Os referidos autores afirmam que estes modelos são referenciados

---

<sup>5</sup> *Trade-offs* são escolhas realizadas durante a tomada de decisão. A partir desse tipo de escolha, se perde uma qualidade ou aspecto de algo, para que se ganhe outra qualidade ou aspecto.

como modelos estáticos, pois os objetos existentes permanecem em um local por toda a duração da construção, ou seja, não permitem reutilizar o espaço ocupado por objetos que não são mais necessários no canteiro. Para superar as limitações da abordagem estática e refletir as mudanças no tempo, alguns estudos propõem a divisão da duração do projeto em vários intervalos de tempo e geram *layouts* parciais para cada fase (TOMMELEIN; ZOUEN, 1993). Nesse modelo, a abordagem faseada permite a reutilização dos espaços de uma fase para outra (EL-RAYES; SAID, 2009). Apesar desta vantagem com relação aos modelos estáticos, existe uma desvantagem no próprio modelo faseado. Embora o espaço possa ser reutilizado de um esquema parcial para outro em modelos faseados, dentro de cada *layout* parcial a reutilização do espaço não é permitida (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013).

A geração de modelos de *layout* mais recente passou a incorporar o fator tempo. Os modelos dinâmicos, assim chamados, passaram a incorporar as mudanças que ocorrem no canteiro com o passar do tempo e passaram a aprimorar os *layouts* (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013). Nestes modelos, a duração exata que o objeto ocupa um espaço no canteiro é considerada. Os objetos entram e saem do canteiro em diferentes momentos do projeto, porém, a atribuição de um espaço a eles por períodos mais longos do que eles estão no canteiro pode reduzir a eficiência do *layout* final (EL-RAYES; SAID, 2009). Segundo Andayesh e Sadeghpour (2013), a utilização destes modelos dinâmicos é essencialmente crucial para projetos com canteiros de obra com espaço reduzido, como em áreas urbanas.

## 2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE CANTEIROS DE OBRAS

A gestão logística é descrita pelo *Council of Logistics Management* como o processo de planejamento, implementação e controle eficiente do fluxo e estoque de materiais, serviços e informações relacionadas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender os requisitos do cliente. Além disso, a gestão logística envolve a aquisição, o transporte, a manutenção e a disposição dos materiais; a disposição das instalações e a aquisição de serviços (NATO, 1997).

Lambert, Stock e Ellram (1998) definem as principais atividades da gestão logística envolvendo o planejamento, a implementação e o controle. Para os referidos autores, a gestão logística envolve informações de entrada provenientes de diversos recursos, nos quais os fornecedores fornecem os materiais, os quais a logística gerencia. Os referidos autores

afirmam que as saídas do sistema logístico são: vantagem competitiva, tempo e lugar, movimentação eficiente até o cliente e tornar a logística um ativo da organização.

O planejamento e controle logístico de um empreendimento da construção civil envolve princípios logísticos integrados:

- **Previsão:** prever e gerenciar restrições logísticas em todos os níveis para analisar a sequência de atividades de montagem e prever a exigência de pessoas, materiais, ferramentas, equipamentos, espaço de trabalho, acessos e serviços de apoio (HAWKINS, 2010).
- **Visibilidade:** o time de projeto necessita uma clareza e um compartilhamento do entendimento de cada tarefa proposta, sendo, por isso, a visibilidade do planejamento proposto essencial para o cumprimento das tarefas (HAWKINS, 2010). A comunicação é considerada um dos fatores mais importantes que influenciam a eficiência da logística, pois sem uma boa comunicação os procedimentos e as políticas logísticas não podem ser transmitidas através dos funcionários (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998).
- **Cooperação:** as atividades de montagem precisam de uma abordagem cooperativa para a logística sair de uma estratégia de preparação para uma fase de execução no canteiro de obra (HAWKINS, 2010).
- **Eficiência:** envolve o alcance de um suporte aos montadores para o menor esforço logístico e a melhor utilização dos recursos logísticos, o que exige um entendimento claro de como a logística apoia o processo de construção (HAWKINS, 2010). Além disso, o ambiente organizacional deve motivar os funcionários para aumentar sua eficiência e, conseqüentemente, a eficiência da logística do canteiro como um todo (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998).
- **Simplicidade:** o arranjo logístico na construção deve ser simples no conceito e na execução, através de procedimentos de projetos fáceis de entender, processos logísticos comuns entre todas as organizações envolvidas no canteiro, controle preciso do canteiro de obra e canais de comunicação claros sobre o projeto (HAWKINS, 2010).
- **Agilidade:** as atividades logísticas estão sujeitas as condições de mudança, portanto a logística deve ter agilidade para se adaptar e inovar (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). A agilidade logística é alcançada através de pessoas com

experiência versátil sobre logística; pela prestação adequada do projeto do canteiro, equipamentos e recursos; pela capacidade da equipe de projeto responder à constante evolução dos ambientes de trabalho e acontecimentos inesperados e adaptar-se rapidamente; e pela utilização eficiente dos recursos (HAWKINS, 2010).

Com relação aos princípios apontados por Hawkins (2010) e Lambert, Stock e Ellram (1998), pode-se afirmar que é importante o entendimento do planejamento logístico por parte de todos os envolvidos na execução de um empreendimento. A visibilidade do plano logístico auxilia na cooperação de todos os envolvidos na busca do cumprimento das estratégias pretendidas. Neste sentido, a gestão visual tem o objetivo de possibilitar a comunicação no canteiro de obras com o aumento da transparência (FORMOSO *et al.*, 2002) e tornar o padrão acessível a ser aplicado, sendo possível reconhecer qualquer desvio imediatamente por qualquer pessoa (NINGAPPA, 2011). A gestão visual pode ser entendida como um esforço de gestão da informação e comunicação consciente que participa na execução de operações e gestão da produção (TEZEL *et al.*, 2015). Ainda, a gestão visual está relacionada com o princípio de aumentar a transparência de processos, um dos 6 princípios propostos por Koskela (2000) para a visão de produção como fluxo. Segundo Koskela (1992), a falta de transparência no processo aumenta a propensão ao erro, reduz a visibilidade de erros e diminui a motivação para a melhoria. Assim, aumentar a transparência tem o objetivo de facilitar o controle e a melhoria, tornando o fluxo de operações visível e compreensível para todos os envolvidos (KOSKELA, 1992).

Para Said e El-Rayes (2010), o planejamento e controle logístico de um empreendimento busca a coordenação entre entrega e estoque de materiais considerando seus impactos e interdependências. Agapiou *et al.* (1998) desenvolveram um modelo logístico para melhorar o projeto e o processo construtivo incluindo atividades de planejamento do canteiro, entrega de materiais, número de mudanças no detalhamento, retrabalho durante a fase de construção e condições do trabalho no canteiro. Algumas ferramentas de gestão propostas para o planejamento logístico identificadas por Agapiou *et al.* (1998) são apresentadas na Figura 7.

| Ferramentas para gestão logística | Descrição   |
|-----------------------------------|---|
| Coordenação de materiais          | Atribuição de um responsável por gerenciar a logística durante o processo de construção   |
| Plano de suprimentos              | Indica datas previstas de entrega de lotes de materiais para a obra. O plano é especificado pelo coordenador de materiais em cooperação de cada fornecedor/subcontratado  |
| Programação dos pedidos           | Uma versão detalhada do plano de suprimento cobrindo um período de 3 semanas. A programação é feita pelo coordenador em cooperação de cada subcontratado  |
| Planos de descarregamento         | Estes planos indicam onde os materiais fornecidos devem ser descarregados no canteiro   |
| Especificações de unidades        | Uma unidade é um lote de materiais necessários para um trabalho específico de uma equipe em um local do canteiro. Toda a obra deve ser dividida em unidades. O conteúdo de cada unidade deve ser especificado pelo subcontratado envolvido. O planejamento da unidade é especificado pelo fornecedor em acordo com o coordenador de materiais |

Figura 7 – Componentes da gestão logística (adaptado de Agapiou *et al.*, 1998).

De acordo com as definições apontadas pela literatura, o planejamento e controle logístico de canteiros de obras envolve as atividades de planejamento de *layout* do empreendimento (SAURIN, 1997), o qual envolve a definição dos espaços necessários para a movimentação dos materiais (TOMMELEIN; ZOUÉIN, 1998), o tamanho, a forma e a localização das áreas de trabalho fixas e temporárias, as vias de circulação necessárias para o desenvolvimento das operações durante cada fase da obra, de forma integrada e evolutiva (FEREIRA; FRANCO, 1998) e a representação das decisões sobre o que fazer em situação de conflitos de espaço e tempo (AKINCI; FISCHER; ZABELLE, 1998). Além disso, o planejamento e controle logístico do canteiro de obra deve considerar a diminuição do transporte de materiais e evitar o congestionamento de fluxos no canteiro de obra (TOMMELEIN; ZOUÉIN, 1993) através do controle das operações envolvidas no descarregamento dos materiais (AGAPIOU *et al.*, 1998).

### 2.2.1 PLANEJAMENTO DE *LAYOUT* DE CANTEIROS DE OBRAS

Uma das atividades do planejamento e controle logístico de canteiros de obras é o planejamento do *layout* do canteiro, o qual é referido como a determinação da localização dos materiais no canteiro de obras antes do início da construção, a fim de reduzir distâncias de transporte e locomoção e melhorar o desempenho em termos de segurança e a produtividade (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2013).

De acordo com Corrêa e Corrêa (2008), o planejamento de *layout* visa à eliminação das atividades que não agregam valor. Em vista disso, segundo Corrêa e Corrêa (2008), o *layout* deve:

- Reduzir os custos de manuseio e movimentação interna de materiais;
- Utilizar o espaço físico disponível de forma eficiente;
- Contribuir para aumentar a eficiência da mão de obra, evitando que esta se movimente desnecessariamente;
- Facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas na operação;
- Reduzir tempos de ciclo dentro da operação, sempre que possível e coerente com a estratégia;
- Facilitar a entrada, saída e movimentação dos fluxos de pessoas e de materiais;
- Atender a exigências legais de segurança no trabalho;
- Facilitar a manutenção dos recursos garantindo fácil acesso;
- Facilitar o acesso visual às operações, quando adequado.

Com relação ao planejamento do canteiro de obra, Saurin (1997) propôs diretrizes através de um procedimento sistematizado, compreendendo quatro etapas básicas: análise preliminar; arranjo físico geral; arranjo físico detalhado; e cronograma de implantação. A análise preliminar consiste na coleta e análise de dados executada antes de se iniciar o plano de *layout* (SAURIN, 1997). A etapa de definição do arranjo físico geral, ou macro *layout*, envolve a definição do local que cada área do canteiro (instalações) ocupa no canteiro. Já o arranjo físico detalhado, ou micro *layout* envolve um detalhamento do arranjo físico geral através do estabelecimento de cada equipamento ou instalação no canteiro de obra. Por fim, Saurin (1997) propõe que o cronograma de implantação do plano seja estabelecido em várias fases do *layout*.

Lee (1998) também sugere que o planejamento do dimensionamento do canteiro seja realizado em vários níveis de detalhe, sendo o ideal partir do geral para o particular, pois as decisões estratégicas são decididas em primeiro lugar. Neste sentido, Lee (1998) define cinco níveis para o planejamento do espaço: (a) localização global: decide-se onde localizar as instalações e determina sua missão com a localização através de mapas das atividades; (b) planejamento do supra espaço: planejamento do local, incluindo número, tamanho e localização de prédios, infraestrutura; (c) planejamento do macro espaço: estabelece a organização básica, através da definição e localização de departamentos operacionais e

determinação do fluxo geral de materiais; (d) planejamento do micro espaço: determinação do planejamento da localização de equipamentos e espaços específicos; (e) planejamento do sub micro espaço: é a definição das estações de trabalho e dos operários, visando eficiência, eficácia e segurança.

Para Lee (1998), pode haver sobreposição entre estas fases, sendo que as mesmas devem ser flexíveis. O planejamento do macro espaço é o nível mais importante, pois estabelece a organização fundamental e os padrões de fluxo de materiais, devendo ser realizado na programação de longo prazo do empreendimento (LEE, 1998). Este nível de planejamento influencia quase todas as medidas de desempenho da instalação e da organização, sendo importante realizar uma reunião formal para o desenvolvimento da estratégia operacional de implementação do projeto neste nível (LEE, 1998).

### 2.2.2 VÍNCULO DO PCP COM O PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO

O planejamento e controle da produção (PCP) é definido como um processo gerencial que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz quando realizado em conjunto com o controle (FORMOSO *et al.*, 1999). Desta maneira, Formoso *et al.* (1999) afirmam que não existe a função controle sem planejamento e o planejamento é inócuo sem controle. Para Ballard e Howell (1998), o controle da produção é importante, pois consiste na agregação do planejamento da produção com a coordenação dos materiais, o controle das atividades de trabalho, a liberação de ordens de serviço e o controle das unidades de produção.

Laufer e Tucker (1987) descrevem o processo gerencial do PCP por meio de duas dimensões, uma horizontal e outra vertical. Na dimensão horizontal, os mesmos autores caracterizam o PCP em etapas: preparação do PCP, coleta de informações, elaboração dos planos, difusão das informações, ação e avaliação do PCP. A Figura 8 ilustra a dimensão horizontal proposta por Laufer e Tucker (1987).

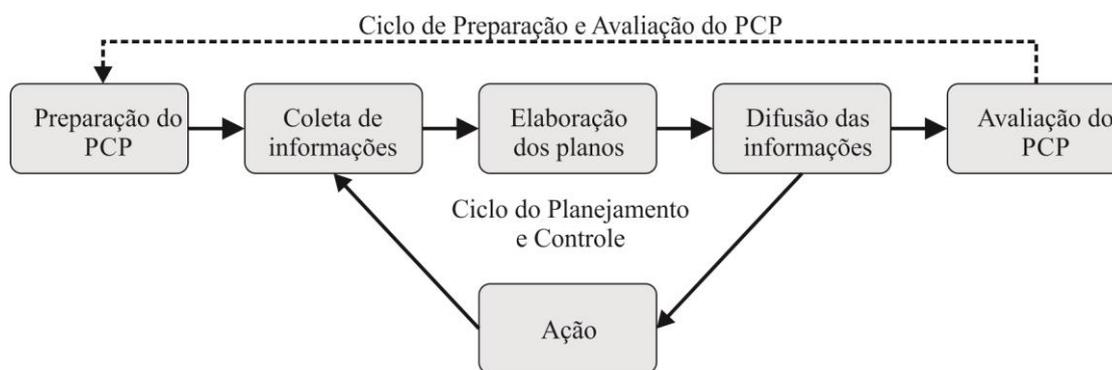


Figura 8 - Dimensão horizontal do planejamento e controle da produção (adaptado de Laufer e Tucker, 1987).

Na dimensão vertical, o PCP é dividido em diferentes níveis hierárquicos, cada nível se relaciona com um escopo e um determinado período de tempo. No contexto da manufatura a divisão é feita em três níveis: (1) estratégico, no qual se define o escopo e as metas; (2) tático, no qual se identifica os meios, ou seja, os recursos e suas limitações; e (3) operacional, no qual se define as ações a serem realizadas (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Na construção civil, em geral, adota-se a divisão em três níveis segundo Ballard e Howell (1998): (1) planejamento de longo prazo; (2) planejamento de médio prazo, o qual detalha e ajusta o plano de atividades puxando recursos; e (3) planejamento de curto prazo, o qual os trabalhadores se comprometem com o que será feito e depois avaliam o que deveria ser feito contra o que foi feito.

Neste contexto, o grau de detalhamento da informação deve ser de acordo com cada nível referido e está diretamente relacionado ao grau de incerteza envolvido (FORMOSO *et al.*, 1999). Segundo Formoso *et al.* (1999), o planejamento de longo prazo convive com muitas incertezas, portanto deve ser pouco detalhado. Os mesmos autores afirmam que o médio prazo faz a vinculação entre o plano mestre e os planos operacionais. Já no curto prazo o papel é o de orientar as atividades estabelecendo tarefas ou pacotes de trabalho (FORMOSO *et al.*, 1999). Diante disso, Formoso *et al.* (1999) afirmam que os empreendimentos com alto grau de incerteza devem programar suas atividades em um momento mais próximo à execução das mesmas.

O planejamento e controle logístico pode se relacionar com os níveis hierárquicos do planejamento e controle da produção. No nível estratégico, a organização planeja a logística considerando um horizonte de tempo de longo prazo, no qual o plano considera os objetivos gerais da organização e não necessita muitos detalhes (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). Isto ocorre, pois é difícil antecipar mudanças que podem ocorrer na organização. No

nível tático, a gestão logística se relaciona com o planejamento de médio prazo, o qual inclui a definição do transporte dos materiais, os equipamentos e demais questões de suporte à infraestrutura logística (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998). Já no nível operacional, está envolvido com o planejamento das atividades, e seu desempenho é monitorado e comparado com o planejado a fim de antecipar problemas e comunicar os resultados (LAMBERT; STOCK; ELLRAM, 1998).

Alves (2000) também relacionou os níveis hierárquicos do planejamento e controle da produção através da proposição de diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras, apresentando conexões desde a elaboração do plano de longo prazo até a preparação do plano semanal. Alves (2000) afirma que no planejamento de longo prazo deve-se realizar um primeiro estudo sobre a distribuição dos materiais, o acesso de caminhões para descarregamento de materiais no canteiro, o posicionamento das instalações temporárias, entre outros. No planejamento de médio prazo, a indicação dos locais de execução das tarefas deve ser indicada no plano de médio prazo, bem como a distribuição dos materiais e equipamentos necessários referentes a cada processo, e a sequência de execução do processo (ALVES, 2000). No médio prazo são também consideradas as restrições de tempo e espaço. Por fim, Alves (2000) propôs que no plano de curto prazo seja monitorada a ocorrência de possíveis problemas que interrompam o fluxo produtivo.

Nas subsecções seguintes serão descritas duas ferramentas de planejamento e controle da produção que foram utilizadas no presente trabalho, o Sistema *Last Planner* de Controle da Produção e o Planejamento baseado em localização.

#### 2.2.2.1 O Sistema *Last Planner*

O Sistema *Last Planner* (SLP) foi desenvolvido nos Estados Unidos como um método para planejar e controlar a produção em canteiros de obra (KOSKENVESA; KOSKELA, 2005). O SLP foi proposto por Ballard e Howell (1994) como uma forma de planejar a produção buscando atingir metas de prazo a partir do aumento da confiabilidade do sistema de produção em termos de conclusão de tarefas. O SLP pode ser entendido como um mecanismo para transformar o que deveria ser feito em o que pode ser feito, e assim, formar um estoque de pacotes de trabalho prontos, a partir do qual os planos de trabalho podem ser montados (BALLARD, 2000). O foco do Sistema *Last Planner* incide em dois níveis hierárquicos, os quais são descritos a seguir:

#### (a) Planejamento de médio prazo

O controle do fluxo de trabalho coordena o fluxo do projeto, dos suprimentos e das instalações através das unidades de produção no nível de planejamento de médio prazo (BALLARD, 2000). O planejamento de médio prazo faz a vinculação do planejamento de longo e de curto prazo. O referido planejamento possui um horizonte de tempo móvel além de uma visão antecipada de algumas semanas à frente, sendo assim, denominado também de *lookahead* (preditiva) (FORMOSO *et al.*, 1999). As funções do planejamento de médio prazo abrangem: a análise de restrições, o dimensionamento da carga e capacidade de trabalho, a definição dos recursos físicos (material, mão de obra, equipamentos), decomposição do longo prazo em pacotes de trabalho e operações, desenvolvimento detalhado de método de execução do trabalho (BALLARD, 2000).

Quando o objetivo do planejamento *lookahead* não é cumprido, ou seja, não deixa as atividades aptas, a execução da tarefa prossegue sem a remoção completa de limitações, devido à incerteza, falta de planejamento, falta de informação, ou à pressão para uma ação rápida. Realizar uma tarefa sem ter as condições necessárias para desenvolvê-la é chamado de *making-do*, conceito definido por Koskela (2004) como a oitava perda na produção. Segundo o mesmo autor, *making-do* é uma perda que se refere à situação na qual uma tarefa inicia sem ter todas as entradas necessárias. Um exemplo de *making-do* é quando um processamento é iniciado sem que todo material necessário tenha chegado.

#### (b) Planejamento de Curto Prazo

O planejamento de curto prazo geralmente é semanal e também é denominado de plano de comprometimento ou operacional (BALLARD; HOWELL, 1998). Neste nível de planejamento são selecionadas apenas as tarefas que podem ser completamente realizadas, tarefas nas quais os materiais estejam disponíveis e que todos os pré-requisitos de trabalho estejam completos (BALLARD; HOWELL, 1997). O planejamento neste nível deve ter ênfase no engajamento das equipes de trabalho com as metas estabelecidas, sendo por isso denominado de planejamento de comprometimento (BALLARD, 2000).

No planejamento de curto prazo dois indicadores importantes são obtidos: o PPC (Percentual de Pacotes Concluídos) e a frequência das causas de não cumprimento dos pacotes de trabalho (BALLARD, 2000). O PPC consiste em dividir a quantidade de atividades executadas pela quantidade de atividades programadas (BALLARD, 2000). Para proteger a produção, deve-se

medir o PPC identificando as causas raiz de falhas e eliminando-as para prevenir repetições (BALLARD; HOWELL, 1997). A identificação das causas raiz de não conclusão dos pacotes de trabalho consiste na identificação dos motivos pelos quais os pacotes de trabalho não foram concluídos.

#### 2.2.2.2 Planejamento baseado na localização

O planejamento baseado na localização (LBS – *location-based-schedule*) é um sistema de planejamento e controle da produção utilizado para representar graficamente o progresso de atividades repetitivas em função do tempo (KALA; MOUFLARD; SEPPÄNEN, 2012). O LBS tem origem na Linha de Balanço (LOB) (HARRIS; IOANNOU, 1998), como uma tentativa de ampliar a utilização da LOB como técnica de planejamento. As ferramentas baseadas em localização são visuais e fornecem informações sobre os fluxos de trabalho e outras características dos empreendimentos, apoiando estudos de produtividade (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2013). Variáveis como tempo de ciclo, prazos de entrega, tempo *takt*<sup>6</sup> e o tamanho de lote podem ser visualizadas na LOB, que ajuda na compreensão de como as operações são agentes interdependentes do sistema de produção (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2013).

A linha de balanço utiliza linhas em diagramas para representar os diferentes tipos de trabalhos realizados por diferentes equipes de construção que trabalham em locais específicos em um projeto (JONGELING; OLOFSSON, 2007). Essa técnica de planejamento auxilia na análise de equipes com tamanhos, ritmos e fluxos de trabalho diferentes a fim de atender a data de conclusão planejada (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2013). Através da linha de balanço, o empreendimento é quebrado em seções físicas, e se possível, busca-se estabelecer um ritmo da produção, pela sincronização do trabalho de diferentes equipes (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

Seppanen, Ballard e Pesonen (2010) afirmam que o Sistema *Last Planner* e o LBS são complementares, ambos procuram alcançar os objetivos *lean* de diminuir perdas, aumentar produtividade e diminuir a variabilidade. Enquanto o *Last Planner* foca no processo de planejar e controlar a produção, o LBS é um sistema técnico utilizado para estruturar a informação para melhorar o processo de planejamento e definir indicadores para estabelecer previsões e monitorar o avanço físico. O planejamento de curto prazo e *lookahead* podem

---

<sup>6</sup> Tempo *takt* é o ritmo de produção necessário para atender a demanda.

utilizar o progresso do LBS como um sistema de alarme para avaliar os efeitos do projeto da produção e os possíveis desvios de produção (SEPPANEN; BALLARD; PESONEN, 2010).

### 2.2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS

Empresas *engineer-to-order* (ETO) são fornecedoras de produtos altamente personalizados para atender às necessidades individuais de seus clientes. De acordo com a Hicks et al. (2000), os elevados níveis de personalização de produtos ETO configura um ambiente com alta incerteza, riscos elevados em um curto prazo de entrega. Portanto, o planejamento e controle logístico de sistemas pré-fabricados ETO é extremamente importante para alcançar as metas de prazo, custo, qualidade e segurança.

Sacks, Akinci e Ergen (2003) destacam a dependência da montagem das obras na fabricação dos componentes de projetos de empresas *engineer-to-order* (ETO). Empresas ETO são responsáveis por projetar, fabricar e montar componentes pré-fabricados conforme a demanda de projeto específica de seus clientes. Enquanto as peças são fabricadas na fábrica, a realização da pré-montagem e montagem final é concluída no canteiro de obra (MATT; DALLASEGA; RAUCH, 2014). Matt, Dallasega e Rauch (2014) afirmam que o processo de manufatura dos componentes na fábrica de empresas ETO, tradicionalmente é desconectado da instalação no canteiro de obra.

Ballard, Harper e Zabelle (2003) apontam como problemas típicos de empreendimento de estruturas pré-fabricadas, a existência de grandes lotes de informação e a priorização dos projetos das peças com maior repetição na obra. Os referidos autores afirmam que uma das causas mais importantes de estoques em sistemas de estruturas pré-fabricadas é em virtude das peças serem pré-fabricadas e enviadas para obra na ordem de fabricação das peças de maior repetição, e não as peças que são realmente necessárias na sequência de montagem.

Da mesma maneira, Dawood e Marasini (2001) apontam a falta de comunicação entre o planejamento da produção e a fábrica de pré-fabricados. Os referidos autores reforçam a necessidade de transparência neste ambiente da construção para gerenciar os estoques de materiais no canteiro de obra. Dawood e Marasini (2001) sugerem a utilização de tecnologia da informação para buscar a redução de estoques das estruturas pré-fabricadas.

Ballard e Arbulu (2004) afirmam que para eliminar as perdas envolvidas em estoques ociosos de pré-fabricados no canteiro de obra, a indústria deve aumentar a confiabilidade do fluxo de trabalho e reduzir o *lead time* dos fornecedores, para que mais produtos e serviços possam ser

puxados para o canteiro quando necessário. Desta maneira, Ballard e Arbulu (2004) fazem recomendações sobre pré-fabricados, dentre as quais se destaca a maneira de explorar meios de reduzir a variabilidade na sequência de instalação no canteiro através da implementação de controle da produção do sistema *Last Planner*; reduzir *lead times* dos fornecedores e melhorar os processos da fabricação e de projeto. Os referidos autores sugerem que uma melhoria deve ser feita em sistemas pré-fabricados através de uma combinação de aprender com as falhas do plano e melhorar o planejamento *lookahead*, especificamente melhorar através do detalhamento das operações, a fim de antecipar as tarefas que precisam ser feitas.

Em sistemas metálicos pré-fabricados, Tommelein e Weissenberger (1999) afirmam que os projetos industriais tendem a ser complexos e grandes, e muitas incertezas permanecem sem solução no início do projeto, sendo que, diante disso, deve haver comunicação eficaz entre todas as partes para coordenar a sequência de montagem com as entregas dos materiais. No entanto, de uma maneira geral, as decisões do sequenciamento de execução da construção são empurradas para a fábrica, e por isso não forma a sequência ideal para a etapa de montagem (TOMMELEIN; WEISSENBERGER, 1999).

Um dos problemas apontados em sistemas metálicos pré-fabricados, é o fato de que as taxas de produção dos componentes pré-fabricados são significativamente mais rápidas do que as taxas de içamento das mesmas e devido às incertezas envolvidas no processo de montagem no canteiro de obra (SACKS; AKINCI; ERGEN, 2003). Na pesquisa de Thomas, Sanvido e Sanders (1989), foi reportado a perda de 200 homens/hora, representando cerca de 16% do tempo referente ao trabalho de içamento de estruturas metálicas devido ao mau gerenciamento dos materiais. Bertelsen e Nielsen (1997) afirmam que estudos de logística mostram que um aumento substancial na produtividade da construção pode ser obtido mediante a entrega de materiais em condições estabelecidas pelo canteiro de obra, ou seja, pelo sistema puxado. Ainda, segundo os mesmos autores, os custos adicionais através desta abordagem podem ser facilmente cobertos pela economia obtida no local da construção.

Além disso, como milhares de componentes estruturais são fabricados, entregues e erguidos para um único empreendimento, é essencial que os gestores utilizem a produção puxada e se certifiquem que os componentes certos são adquiridos e instalados no tempo (CHIN *et al.*, 2008). Alterações de projeto não compartilhadas com precisão, de forma consistente, e em tempo hábil entre o gestor da obra e o fabricante, podem causar riscos de tempo e custo, pois

os componentes incorretos podem ser fabricados e entregues no canteiro de obra (CHIN *et al.*, 2008).

### 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há uma crescente conscientização da necessidade de gerenciar a logística para alcançar resultados bem sucedidos tanto para os clientes como para todas as empresas envolvidas. Diante disso, o planejamento e controle logístico de obras exerce um papel fundamental para melhoria da produtividade em um projeto da construção. Na gestão logística, a utilização de melhores métodos de planejamento fornece um grande potencial para aprimorar o fluxo de trabalho em canteiros de obras e para redução de perdas no processo de construção (JONGELING; OLOFSSON, 2007). O grande desafio encontra-se em criar ordem e controle no canteiro de obra a fim de reduzir os custos através da eliminação de perdas (BERTELSEN; NIELSEN, 1997). Em empreendimentos de estruturas pré-fabricadas, o planejamento e controle logístico é extremamente importante devido à complexidade do sistema envolvido em coordenar a montagem da estrutura com a entrega de materiais.

Considerando as definições de planejamento e controle logístico de canteiro de obra apontadas pela literatura, o escopo deste trabalho se limita ao planejamento e controle logístico de obras no contexto de sistemas pré-fabricados do tipo ETO. Para apoiar o planejamento logístico de obra, algumas atividades fazem parte do escopo do projeto do sistema de produção, envolvendo a definição da estratégia de execução do empreendimento, o estudo dos fluxos de trabalho e a definição de processos críticos. Através destas definições, o plano logístico envolve o planejamento do macro *layout* do empreendimento e de micro *layout* de processos críticos, os quais envolvem em diferentes níveis de detalhe o estudo dos fluxos de equipamentos e dos fluxos de materiais, a definição dos locais de estoque de materiais e das instalações provisórias. Além das questões relacionadas ao planejamento logístico de obra, o trabalho também abrange uma parte do sistema de fornecimento de alguns materiais com a utilização de planos de carga, na escolha dos equipamentos necessários para a realização das operações de descarregamento dos materiais no canteiro, no controle do plano logístico com relação à movimentação dos materiais e nas operações de descarregamento e na geração de dispositivos visuais para inserção no canteiro.

### 3 SIMULAÇÃO BIM 4D

Este capítulo inicia com a definição do conceito de *Building Information Modeling* (BIM). O conceito de nível de detalhe também é apresentando, tendo em vista sua utilização para definir o nível de detalhe das informações de objetos BIM. O conceito de simulação 4D é apresentando e, após, são identificadas as interações existentes entre funcionalidades BIM e os princípios da produção enxuta. As interações mais importantes para o planejamento e controle logístico de obras são evidenciadas. Por fim, são apresentadas pesquisas que buscaram utilizar tecnologia da informação para o planejamento e controle logístico de obras, e uma revisão sistemática de literatura buscou analisar os trabalhos que utilizaram a modelagem 4D no planejamento e controle logístico de canteiros de obras.

#### 3.1 BUILDING INFORMATION MODELING

Segundo Eastman *et al.* (2011), BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção. O tradicional meio de comunicação entre as fases do ciclo de vida de um projeto da construção - desenhos CAD<sup>7</sup> 2D - tem sido substituído pela introdução de objetos tridimensionais paramétricos, os quais facilitaram a comunicação e introduziram o conceito de BIM (MEADATI; IRIZARRY; AKHNOUKH, 2011). Objetos paramétricos consistem na definição geométrica e associação de dados e regras, incluindo características físicas e funcionais, bem como informações sobre o ciclo de vida do projeto (EASTMAN *et al.*, 2011).

A troca de informações tende a ser mais eficaz com a utilização de BIM em função da noção de interoperabilidade. Segundo Eastman *et al.* (2011), a interoperabilidade é a capacidade de trocar dados entre aplicativos de maneira a facilitar os fluxos de trabalho. A interoperabilidade elimina a necessidade de copiar informações manualmente, sendo mais fácil a troca de modelos, pois os formatos de arquivos de troca são neutros e possuem padrões de modelagem. O principal padrão usado é o *Industry Foundation Classes* (IFC<sup>7</sup>, um padrão internacional de troca de informação e integração criado pela *International Alliance for Interoperability* (IAI) (EASTMAN *et al.*, 2011). Os *softwares* que possuem a tecnologia BIM, e que apresentam a extensão de arquivo (.ifc) para exportação, normalmente comportam a

---

<sup>7</sup> CAD pode ser traduzido por Projeto Assistido por Computador, é um nome genérico de sistemas computacionais (*softwares*) que são usados para desenvolver projetos.

troca de arquivos entre *softwares* de diferentes desenvolvedores, eliminando a necessidade de utilizar um pacote de *softwares* de uma única empresa.

É importante mencionar que BIM não é um *software*, nem apenas a utilização de modelos inteligentes tridimensionais, que pode resultar em mudanças substanciais no fluxo de trabalho (HARDIN, 2011). Azhar (2011) aponta as principais aplicações dos modelos BIM: (a) a visualização do projeto; (b) a criação de desenhos para fabricação/venda, pois se torna fácil criar desenhos de vários pontos de vista uma vez que o modelo está completo; (c) utilização dos modelos BIM em revisões de projetos de construção, como, por exemplo, de prevenção de incêndios; (d) estimativa de custos, através da geração automática de dados dos modelos; (e) visualização do sequenciamento de construção; (f) detecção de conflitos, interferências; (g) análise gráfica de possíveis falhas; (h) gestão de facilidades, utilizando o modelo para reformas, planejamento do espaço e operações de manutenção.

A modelagem BIM 4D é uma das aplicações mais utilizadas para a gestão da produção, possibilitando a criação de um ambiente de visualização do processo de construção para apoiar o processo de planejamento (DAVIES; HARTY, 2013). Para atender os objetivos dos modelos BIM, os mesmos exigem certa precisão com relação à riqueza de informações dos objetos (VOLK; STENGEL; SCHULTMANN, 2014).

### 3.1.1 *LEVEL OF DETAIL (LOD) E LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD)*

Identificar o nível de informações necessário para um objeto BIM é importante para atingir os objetivos específicos dos modelos. Leite *et al.* (2011) afirmam que o propósito do modelo BIM (por exemplo, estimativa de custos, simulação de energia, desenhos de fabricação), dita o nível de detalhe que o modelo deve ter. A riqueza de detalhes é importante quando o modelo BIM passa a ser utilizado como uma ferramenta de comunicação e colaboração.

Existem diferenças entre os conceitos de *level of detail (LoD)* e *level of development (LOD)*. A definição de LoD em BIM está baseada no uso dos componentes BIM definidos através de uma escala de progressão do componente, que inicia com o menor nível de aproximação (por exemplo, representação conceitual) até o maior nível de representação (por exemplo, *as-built*<sup>8</sup>) (LEITE *et al.*, 2011). Já o nível de desenvolvimento (LOD) é o grau em que a geometria do elemento e da informação foi pensado, sendo que os membros da equipe do projeto podem confiar nessa informação ao usar o modelo (BIMForum, 2013). Em essência, o nível de

---

<sup>8</sup> Projeto *as-built* é elaborado na fase de fiscalização da obra através da representação fiel do objeto construído, com registro das alterações verificadas durante a execução.

detalhe pode ser pensado como uma entrada (*input*) para o elemento, enquanto que ao nível do desenvolvimento é o de saída (*output*).

A AIA (2013) apresenta as classificações dos níveis LOD de 100, 200, 300, 400 e 500. O BIMForum (2013) acrescentou o nível LOD 350. As principais definições são apresentadas a seguir:

- LOD 100: O elemento de modelo pode ser representado graficamente no modelo com um símbolo ou outra representação genérica.
- LOD 200: O elemento do modelo é representado graficamente no modelo como um sistema genérico, objeto ou conjunto com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação.
- LOD 300: O elemento do modelo é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação.
- LOD 350: O elemento do modelo é representado graficamente no modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto em termos de quantidade, tamanho, forma, orientação, e interfaces com outros sistemas para construções.
- LOD 400: O elemento do modelo é representado graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, e orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informações de instalação.
- LOD 500: O elemento do modelo é uma representação de campo constatada em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação.

### 3.1.2 SIMULAÇÃO 4D

Alguns modelos e ferramentas 4D foram desenvolvidos desde o final de 1980 por grandes organizações envolvidas na construção de infraestruturas complexas, para estimar atrasos e custos (EASTMAN *et al.*, 2011). A Figura 9 apresenta duas abordagens para a criação de modelos 4D. A primeira opção é a criação de uma série de capturas de imagens instantâneas a partir de desenhos 2D apagando e ligando os *layers* do projeto, conforme o tempo e as atividades de determinado período. A segunda opção consiste na utilização de um *software* 4D especializado, no qual o modelo 4D pode ser criado a partir de um modelo 3D/BIM ligado

a um plano (EASTMAN *et al.*, 2011). Koo e Fischer (1998) definem modelagem 4D como o processo de associar um modelo do produto da construção com um plano de atividades. Ao comunicar o plano com os objetos do modelo gráfico, permite-se que os envolvidos no planejamento do processo de construção visualizem a sequência de construção.

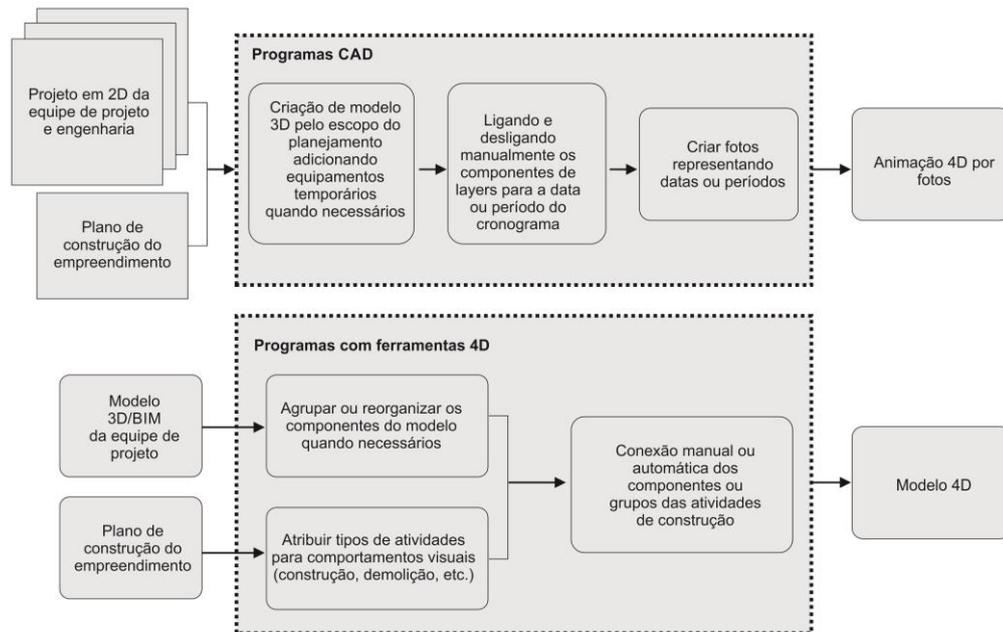


Figura 9 – Métodos para criação de modelos 4D (adaptado de Eastman *et al.*, 2011).

Os modelos 4D servem para diversos propósitos, segundo Tommelein (2003):

- (a) Visualização durante a concepção, construção e *marketing*: representar os componentes do modelo de modo a verificar a sua geometria e localização em relação a outros componentes; acompanhamento das alterações do projeto; conferência de conflitos espaciais e a possibilidade do comprador ver o produto antes da aprovação da compra;
- (b) Estudo de alternativas: permitir que os componentes do produto possam ser substituídos por outros para que se possa avaliar o seu respectivo impacto sobre a quantidade de espaço necessária para a movimentação dos materiais;
- (c) Definição do sequenciamento de montagem: estudar alternativas para montagem dos componentes, permitindo que seja aumentada a eficiência do processo de construção;

Webb, Haupt e Rinker (2003) apresentam alguns outros benefícios esperados sobre a utilização de 4D, tais como: a melhoria na comunicação entre a equipe de projeto; a avaliação de componentes alternativos para a construção; a avaliação de procedimentos mais eficazes de

preparo e manuseio de materiais; o treinamento das equipes de construção; o acompanhamento da evolução do projeto; a melhora das entregas de materiais e a ajuda em superar barreiras linguísticas entre os membros da equipe de construção, especialmente no contexto de empreendimentos de construção internacionais.

Segundo Leinonen *et al.*, (2003), no processo de planejamento, é desejável que sejam consideradas várias opções de planos, fazendo análises de *trade-off* entre as opções. Os modelos 4D podem apoiar a tomada de decisão, permitindo a identificação de possíveis problemas na fase de construção, que podem afetar o desempenho do empreendimento em termos de custo e de prazo (HEESOM; MAHDJOUBI, 2004). Utilizar modelos BIM para simulações 4D permite que os planejadores de obra criem, revisem e editem os modelos 4D com mais frequência, o que permite a elaboração de planos melhores e mais confiáveis (EASTMAN *et al.*, 2011).

### 3.2 ASSOCIAÇÃO DE CONCEITOS BIM E *LEAN*

Segundo Sacks *et al.*, (2009), a disseminação da filosofia *Lean* e de *Building Information Modeling* (BIM) têm resultado em mudanças fundamentais na indústria da construção. Embora possam ser considerados como duas iniciativas independentes, há evidências de que existe muita sinergia entre estes. Por um lado a aplicação da *Lean Production* na construção tem como foco a criação de valor para o cliente, através da eliminação das perdas, por outro lado o BIM é focado na aplicação da tecnologia da informação para automatizar algumas atividades de projeto e contribuir para o aumento da colaboração entre os participantes do empreendimento ao longo do seu ciclo de vida (BHATLA; LEITE, 2012).

Sacks *et al.* (2010) afirmam que existe um potencial de melhoria nos empreendimentos da construção através da adoção BIM e da filosofia *Lean Production* é integrada. A filosofia *Lean Production* tem dois objetivos principais: minimizar a perda física do processo e melhorar a geração de valor para o cliente (DAVE *et al.*, 2013). Segundo Dave *et al.* (2013), o BIM contribui diretamente para estes objetivos ao permitir a melhoria dos processos através da identificação prévia de conflitos, evitando o desperdício, o retrabalho ou o atraso.

### 3.2.1 INTERAÇÕES BIM E *LEAN* PARA O PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE CANTEIROS DE OBRAS

Na pesquisa de Sacks *et al.* (2010) foram identificadas sinergias entre os conceitos BIM e de *Lean Production*, as quais foram representadas em uma matriz de 56 interações. As 56 interações identificadas são apresentadas como hipóteses, e visam a orientar e estimular a investigação de pesquisas neste campo. Em primeiro lugar, as interligações indicam que empresas envolvidas na implementação de conceitos e princípios da filosofia *Lean Production* devem considerar seriamente o uso de BIM para melhorar os resultados. Por outro lado, qualquer empresa que esteja implementando BIM deve considerar a utilização dos princípios da *Lean Production* (SACKS *et al.*, 2010).

As interações propostas por Sacks *et al.* (2010) que se relacionam mais fortemente com o planejamento e controle logístico de canteiros de obras são as seguintes:

- Interação número 29: funcionalidade BIM “rápida geração e avaliação de múltiplas alternativas de planos de construção – simulação do processo construtivo” com o princípio *lean* “reduzir tempos de clico - reduzir estoque”.

- Interação número 40: funcionalidade BIM “rápida geração e avaliação de múltiplas alternativas de planos de construção – visualização 4D de planos da construção” com o princípio *lean* “usar gerenciamento visual – visualizar métodos de produção e processos de produção”.

- Interação número 42: funcionalidade BIM “comunicação baseada em objetos eletrônicos - visualizar o *status* do processo” com o princípio *lean* “projetar o sistema de produção para fluxo e valor – assegurar o desempenho do sistema de produção”.

- Interação número 49: funcionalidade BIM “colaboração no projeto e na construção - visualização de multiusuário de modelos multidisciplinares juntos ou separados” com o princípio *lean* “decidir por consenso considerando todas as opções”.

Considerando a interação de número 42, Sacks *et al.* (2009) afirmam que as aplicações 4D abordam algumas das necessidades *lean* em termos de planejamento do sistema de produção (PSP), porém exigem um maior desenvolvimento para auxiliar na gestão da produção e controle. A ferramenta 4D ajuda a atender esta exigência através da comunicação do fluxo de trabalho proposto de forma eficaz, ajudando a assegurar que as exigências de espaço sejam

atendidas de forma confiável. Através da capacidade de visualizar o modelo virtual do edifício, o andamento do empreendimento pode ser melhor analisado e monitorado e isso facilita a tomada de decisão (BHATLA; LEITE, 2012).

A interação de número 49 se relaciona com a utilização de modelos 4D, nos quais é possível visualizar as atividades multidisciplinares sendo executadas em um período de tempo selecionado, no qual a equipe envolvida no projeto ganha uma compreensão mais profunda se comparado com o uso de desenhos em 2D (DAVE *et al.*, 2013). O requisito importante é tornar o estado do processo de trabalho disponível para todos, ou seja, a equipe de obra ter acesso às informações sobre o andamento das atividades de produção e de processos no canteiro de obra. A visualização assistida por computador é necessária para atender este requisito, pois este estado não é facilmente visto em um canteiro de obra devido a obstáculos físicos e pelo fato de que as equipes de trabalho não têm a localização das estações de trabalho fixas (SACKS *et al.* 2009).

Sacks, Treckmann e Rozenfeld (2009) identificaram os benefícios que o princípio da transparência no processo apresenta, através de interfaces baseadas em BIM. O primeiro benefício da transparência é a disponibilização de informações de localização nos locais de trabalho, considerando que o *layout* muda com frequência. Neste ambiente, a transparência ajuda as pessoas a identificar as estações de trabalho e os caminhos de fluxo. A segunda situação é a disponibilidade da informação sobre a situação do trabalho executado anteriormente, além da disponibilidade de materiais e a exibição de informações no local de trabalho (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Segundo os referidos autores, a disponibilidade destas informações para a equipe de obra através de ferramentas visuais ajuda no controle do planejamento da produção. Painéis visuais podem mostrar o *status* atual das tarefas, e o progresso da construção pode ser controlado através da sobreposição imagens 4D em fotografias do canteiro (FARD; PENA-MORA, 2007).

Além disso, a comunicação visual através da simulação 4D tende a aumentar a participação dos trabalhadores nos esforços de melhoria contínua pois permite uma compreensão e resposta rápida aos problemas (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Como o controle é simplificado, a utilização de ferramentas 4D reduz a propensão a erros e fornece transparência no processo como um impacto positivo sobre a motivação dos trabalhadores (SACKS; TRECKMANN; ROZENFELD, 2009). Biotto (2012) reforça que a ferramenta BIM de simulação 4D deve ser utilizada complementarmente com outras ferramentas de

planejamento para auxiliar na definição do ritmo de produção, plano de ataque e fluxo de trabalho. Algumas ferramentas sugeridas por Biotto (2012) são linha de balanço, diagrama de sincronia e histogramas.

Oskouie *et al.* (2012) analisaram novas relações entre BIM e *Lean* além das identificadas por Sacks *et al.* (2010). A primeira interação trata sobre o suporte ao processo de identificação e remoção das restrições, o qual analisa as restrições relacionadas a uma tarefa específica do *Last Planner* a nível de médio prazo. Neste nível de planejamento, o BIM pode apoiar este processo permitindo os participantes visualizar 4 a 6 semanas à frente nos modelos BIM e, com isso, ajudar a analisar as restrições que as tarefas podem sofrer. A segunda interação identificada por Oskouie *et al.* (2012) foi a facilidade de monitorar em tempo real o progresso da construção, transferir dados recuperados e compará-lo com o banco de dados disponível de informações com o objetivo de avaliar o progresso da obra e tomar decisões futuras com antecedência. Por fim, a terceira interação apontada foi a integração de BIM com realidade aumentada, proporcionando uma melhor compreensão do progresso da construção, precisão e exatidão dos elementos construídos através da sobreposição de *as-built* e *as-planned* (OSKOUIE *et al.*, 2012).

### 3.3 UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE OBRAS

A preocupação com a dinâmica dos canteiros de obra existe há anos, quando ainda não existiam muitas ferramentas computacionais desenvolvidas para este fim. Tommelein (1994) identificou que as operações do campo da construção são ineficientes em termos de onde e como os materiais são armazenados e manipulados. Isto ocorre principalmente devido à dinâmica das operações, à extensão limitada para que o planejamento de *layout* possa ser feito e à incapacidade dos instrumentos existentes para coletar, atualizar informações e refletir a mudança do plano de *layout* conforme o andamento da obra (TOMMELEIN, 1994). Diante disso, é importante desenvolver uma ferramenta de programação que possa representar as características dinâmicas de uso do espaço local (CHOO; TOMMELEIN, 1999).

Jang, Lee e Choi (2007) analisaram um conjunto de trabalhos desenvolvidos de 1989 até 2002 sobre melhorias no planejamento e controle logístico de canteiros de obras. A Figura 10 mostra os principais trabalhos identificados por Jang, Lee e Choi (2007). Os referidos autores apontam que a percepção da necessidade do gerenciamento de espaço em canteiro de obra

tem impulsionado o desenvolvimento de métodos para melhorar o planejamento logístico de obras. Segundo, o estudo mais comum usado no planejamento e controle logístico em canteiro de obras tem sido planos de *layout* do local de trabalho, os quais são necessários para gerenciar os requisitos de espaço. Diversos tipos de algoritmos têm sido desenvolvidos, tais como algoritmos estáticos, dinâmicos, matemáticos e heurísticas, de forma a automatizar a alocação de materiais em canteiros de obras (JANG; LEE; CHOI, 2007). Os mesmos autores afirmam que a complexidade e a multiplicidade dos itens necessários tornam os modelos baseados em computador preferidos em relação aos modelos matemáticos. Entretanto, pode-se observar que existiram várias iniciativas para gerenciar os canteiros de obras antes do uso do BIM, mas as ferramentas desenvolvidas não resultaram em produtos de ampla utilização na construção.

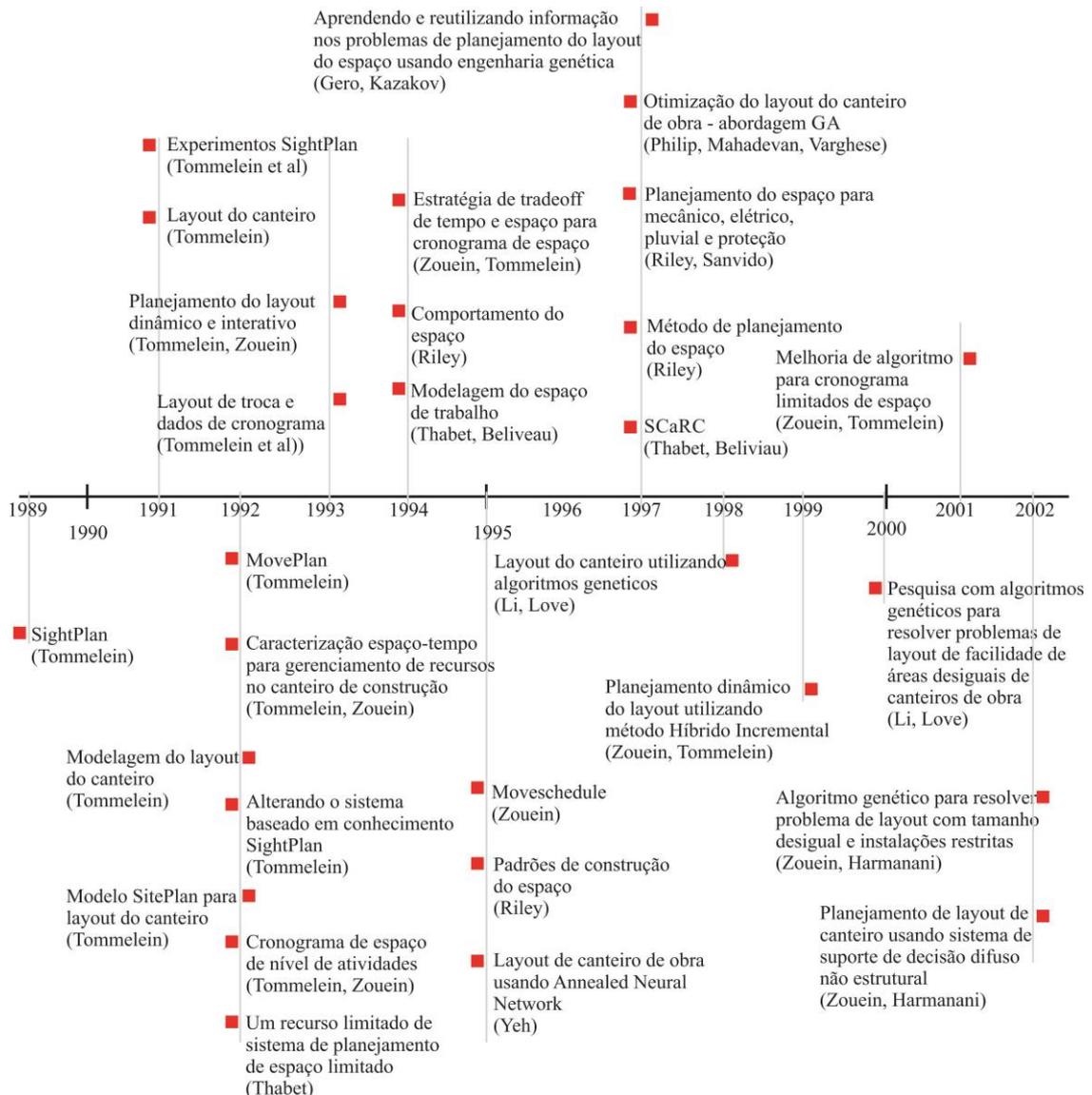


Figura 10 - Algumas pesquisas sobre planejamento e controle logístico em canteiro de obra (1989 a 2002). Adaptado de Jang, Lee e Choi (2007).

Uma das primeiras iniciativas relacionadas ao uso de tecnologia da informação para o planejamento de canteiros foi um sistema especializado para definir instalações temporárias em canteiros de obra, denominado de *SightPlan* (TOMMELEIN, 1989). Esta ferramenta foi aprimorada, e a partir disso foi proposta a utilização do *MoveCapPlan* como ferramenta para auxiliar na modelagem do movimento de materiais no local, para capturar os locais de preparo de materiais, planejar o armazenamento no local e o remanejamento de materiais ao longo da construção (TOMMELEIN, 1994). Zouein (1995) propôs a ferramenta denominada *MoveSchedule* para o gerenciamento de espaço em projetos de construção, como uma extensão do *MovePlan* (TOMMELEIN; ZOUEIN, 1993), que atenua os conflitos de espaços, ajustando o plano de construção.

Gero e Kazakov (1997) descreveram a utilização de algoritmos genéticos como uma ferramenta para a reutilização da informação no planejamento de canteiros de obra. Li e Love (1998), por sua vez, propuseram o uso de algoritmos genéticos para automatizar a alocação de áreas de instalações temporárias no canteiro de obra. Os mesmos autores aprimoraram os estudos na proposição deste um sistema de algoritmos, o qual é um modelo computacional para resolver o *layout* das instalações temporárias (LI; LOVE, 2000).

### 3.3.1 PESQUISAS EXISTENTES UTILIZANDO MODELOS 4D NO PLANEJAMENTO E CONTROLE LOGÍSTICO DE OBRAS

Foram realizados alguns passos de uma revisão sistemática de literatura a fim de mapear de forma sistemática artigos que abordaram a aplicação da modelagem 4D no planejamento e controle logístico de canteiros de obra no período entre 2002 a 2015. A questão de revisão que norteou a seleção de artigos foi: *quais os usos da modelagem 4D vem sendo empregados no planejamento e controle logístico de canteiros de obras?* As palavras de busca escolhidas foram: [“*construction site management*” and 4D]. Os artigos foram buscados na ferramenta de busca de artigos científicos do *google scholar* por não se restringir a nenhum acervo de artigos específico. A aplicação inicial da sentença resultou em 91 artigos, os quais passaram por um refinamento visando à eliminação de artigos fora do escopo do trabalho. Além disso, definiu-se que seriam avaliados todos os artigos que receberam ao menos uma citação na revisão bibliográfica estruturada proposta. Ao final, foram identificados 22 artigos relacionados a alguma atividade do planejamento do canteiro de obra. Os artigos selecionados foram das revistas *Automation in Construction*, *Journal Computing in Civil Engineering* e *Journal of Construction Engineering and Management*.

Akinci, Fischer e Kunz (2002) geraram uma ferramenta denominada *4D Space-Gen*, para automatizar a geração de espaços de trabalho representados em quatro dimensões. Através da proposição de um quadro, os autores sugerem que o gerente de uma determinada obra pode avaliar os tipos de conflitos existentes no espaço-tempo e prever os impactos que os mesmos podem causar.

Olearczyk *et al.* (2014) investigaram o uso de uma abordagem de otimização multi-objetiva para tomar decisões estratégicas em relação à movimentação dos equipamentos no canteiro de obra, e as decisões de execução relativas à distância dos percursos e no canteiro de obra.

Ma, Shen e Zhang (2005) elaboraram o sistema denominado *4D Integrated Site Planning System (4D-ISPS)* que integra cronogramas, modelos 3D, recursos e espaços do canteiro para fornecer a capacidade de visualização gráfica do planejamento do canteiro de obra.

Hu e Zhang (2011) desenvolveram o sistema integrado chamado *4D-GCPSU 2009* a fim de alcançar o planejamento da construção baseada na informação, com a análise de estruturas dependentes do tempo, com planos, recursos, análise de conflitos de custos, bem como a detecção de conflitos entre instalações do canteiro de obra.

Outros estudos identificados focaram em: (a) desenvolver sistemas 4D para planejar o canteiro de obra (ZHANG; MA; PU, 2001; WANG *et al.*, 2004; HUANG *et al.*, 2007; EL-RAYES; SAID, 2009); (b) analisar conflitos e segurança durante a construção (DAWOOD; MALLASI, 2006; SULANKIVI *et al.*, 2010; ZHANG; HU, 2011); (c) permitir a visualização de programação logística e de recursos (CHAU; ANSON; ZHANG, 2004). Outras pesquisas focam em vários aspectos do planejamento do *layout* do canteiro, incluindo: (d) otimização de planos de atividades através da análise da alocação de recursos (LI *et al.*, 2009); (e) comparação do modelo 4D planejado com *as-built* (GOLPARVAR-FARD *et al.*, 2009); (f) metodologia para modelagem de operações da construção (LU *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2014); (g) integração de BIM com realidade aumentada para visualizar atividades da construção (GOLPARVARD-FARD; PENA-MORA; SAVARESE, 2011; WANG *et al.*, 2013); e (h) gerenciamento de atividades de execução dos espaços de trabalho (CHAVADA; DAWOOD; KASSEM, 2012).

Apesar das significativas contribuições destas pesquisas, elas não estudam e modelam as interações entre o planejamento do sistema da produção com o planejamento logístico da construção e como implementar este plano no canteiro de obra. Apenas alguns estudos usam

BIM como suporte para a modelagem 4D na otimização do planejamento logístico dos materiais (ZHANG; HU, 2005; KOSEOGLU, 2011; ZOLFAGHARIAN; IRIZARRY, 2014).

Apesar da popularidade dos modelos 4D, algumas pesquisas apontam as suas limitações. Wang *et al.* (2014) aponta as dificuldades dos modelos 4D por não abordarem detalhes do canteiro de obras tais como simulações de operações e análise de quantidade de materiais. Tommelein (2003) acredita que modelos 4D não refletem explicitamente os valores assumidos pelas variáveis temporais tais como indecisão humana e tolerâncias físicas. A autora afirma que os profissionais envolvidos no desenvolvimento de produtos e processos para engenharia, arquitetura e construção, precisam raciocinar sobre inúmeras outras variáveis além daquelas relacionadas ao tempo e o espaço. Diante disso, Tommelein (2003) considera que os modelos 4D apoiam apenas em parte. Existe a necessidade de recursos não espaciais e não temporais além do modelo 4D para a gestão da produção e do processo de desenvolvimento integrado, tais como: características dos materiais; envolvidos no projeto, construção e manutenção; custos de componentes e de produção e cadeias de fornecimento (TOMMELEIN, 2003).

No Brasil, algumas pesquisas foram desenvolvidas no contexto de empreendimentos de habitação de interesse social. Scheer *et al.* (2014) descrevem medidas tomadas para planejar e replanejar um projeto da construção utilizando informações de modelos BIM com relação ao planejamento de custos e sequenciamento da produção. Biotto (2012) desenvolveu um modelo de gestão da produção com a utilização da modelagem 4D, o qual é composto por três fases: (a) preparação da empresa para o uso de modelos BIM 4D e melhoria do sistema de gestão da produção; (b) fase de gestão da produção com o uso da modelagem BIM 4D; e (c) fase de análise de dados e tomada de decisão. Reck (2013) propôs um método para a elaboração do projeto do sistema de produção utilizando a modelagem 4D e simulação de eventos discretos como ferramentas integradas na tomada de decisão de empreendimentos habitacionais de interesse social. Estes modelos analisaram o PSP dos empreendimentos estudados através de modelos 4D, porém não avaliaram a utilização dos modelos 4D no projeto de *layout* de canteiros de obras.

Além disso, em muitos estudos os modelos 4D não consideram dados espaciais de grande relevância para o planejamento logístico, tais como operações de movimentação e dimensionamento de estoques no canteiro de obra. O planejamento baseado em localização, apresentado na seção 2.2.2.2, apresenta alguns benefícios se comparado a rede CPM, mas não

contempla explicitamente a configuração espacial das atividades. A combinação da linha de balanço com a ferramenta 4D acrescenta uma visão espacial no planejamento de fluxo de trabalho melhorando a qualidade da concepção do processo (JONGELING; OLOFSSON, 2007). Jongeling e Olofsson (2007) sugerem mais pesquisas para estudar o uso da técnica da linha de balanço combinado com modelos 4D para planejar e gerenciar o uso do espaço como parte do gerenciamento de fluxo de trabalho em canteiros de obras.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existiram várias iniciativas relacionadas ao uso de tecnologia para gerenciar os canteiros de obras antes do uso do BIM. No entanto, as ferramentas propostas não resultaram em produtos de ampla utilização na construção. As pesquisas existentes sobre a utilização de modelos 4D apontaram o grande potencial do uso desta tecnologia para o planejamento e controle logístico de canteiros de obras. Considerando a limitação do escopo da presente pesquisa no planejamento e controle logístico de canteiros de obras, buscou-se levar em consideração alguns dos processos explorados com modelos 4D nos trabalhos existentes, tais como: a investigação da utilização do 4D para analisar a trajetória da circulação veículos em canteiros de obras (OLEARCZYK *et al.*, 2014); a análise de conflitos entre as instalações do canteiro (HU; ZHANG, 2011); análise de conflitos de espaço-tempo (AKINCI; FISCHER; KUNZ, 2002) a análise de conflitos de segurança durante a construção (DAWOOD; MALLASI, 2006) e a modelagem de operações da construção (WANG *et al.*, 2014).

A revisão sistemática de literatura confirmou que muitos trabalhos envolvendo modelagem 4D não consideram atividades que não agregam valor, tais como movimentação e estoque de materiais. De uma forma geral, as pesquisas adotam redes CPM nos modelos 4D, os quais não consideram as atividades que não agregam valor. Algumas pesquisas relevantes na área sugerem a associação de outras ferramentas com os modelos 4D para a melhoria no processo de planejamento, dentre eles, a utilização de métodos baseados em localização. Por fim, nos trabalhos anteriores, pouco se explorou a utilização de dispositivos visuais para disponibilização das informações do planejamento e controle logístico. Esta ação pode colaborar diretamente para a utilização efetiva do planejamento e controle, para aumentar a transparência e a disponibilidade das informações no canteiro.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa adotado neste trabalho. Inicialmente, é apresentada a estratégia de pesquisa, seguido do delineamento da pesquisa e a descrição detalhada de cada uma de suas etapas. Por fim, são apresentadas as técnicas utilizadas na coleta e análise dos dados dos estudos desenvolvidos.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Segundo Van Aken (2004), existem três categorias distintas de pesquisas científicas: (a) a ciência formal, cuja missão é construir sistemas de proposições para testar sua consistência lógica interna; (b) a ciência explicativa, cujo objetivo é descrever, explicar e prever fenômenos observáveis; e (c) a pesquisa construtiva, ou *design science research*, que busca desenvolver um conhecimento para a concepção e realização de artefatos, ou seja, para resolver problemas práticos. Como este trabalho propõe um artefato para a solução de uma classe de problemas do mundo real, a pesquisa construtiva foi o modo de produção de conhecimento escolhido.

Para Lukka (2003), há uma série de benefícios que podem ser obtidos a partir de uma pesquisa construtiva. Um deles é a possibilidade de obter benefícios práticos com a realização da pesquisa, que pode ser um incentivo adicional para empresas e outras organizações a colaborarem com o meio acadêmico (os pesquisadores). Do ponto de vista do desenvolvimento do conhecimento geral, a pesquisa construtiva é inerentemente apta para reduzir a distância entre a prática e a pesquisa (LUKKA, 2003).

Segundo Kasanen, Lukka, Siitonen (1993) e Lukka (2003), a pesquisa construtiva tem por objetivo desenvolver soluções inovadoras que resolvam problemas práticos e, ao mesmo tempo, possibilitem uma contribuição teórica. Essas inovações são representadas por artefatos, que podem ser tanto modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e projetos de sistema de informações, os quais são inventados e desenvolvidos, não descobertos (LUKKA, 2003). A Figura 11, ilustra os principais elementos da abordagem da pesquisa construtiva, de acordo com Kasanen, Lukka e Siitonen (1993), sendo a parte essencial, amarrar o problema e sua solução com o conhecimento adquirido.

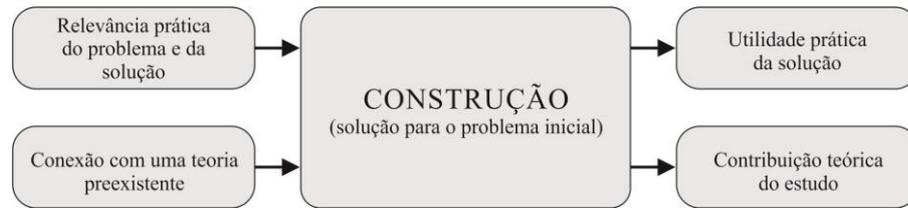


Figura 11 – Elementos da abordagem da pesquisa construtiva (adaptado de Kasanen, Lukka, Siitonen, 1993).

As principais características da abordagem da pesquisa construtiva são: (a) foco em problemas do mundo real relevantes a serem resolvidos na prática; (b) produção de uma construção inovadora destinada a resolver o problema do mundo real inicial; (c) tentativa de implementar o artefato desenvolvido e testar sua aplicabilidade prática; (d) envolvimento de cooperação entre o pesquisador e os profissionais, onde ocorra uma aprendizagem baseada na experimentação; (e) explicitação do desenvolvimento com um conhecimento teórico prévio; e (f) reflexão dos resultados empíricos com base na teoria (LUKKA, 2003).

Holmstrom e Ketokivi (2009) dividem a pesquisa construtiva nas seguintes etapas: (a) encontrar um problema; (b) obter um entendimento; (c) desenvolver uma solução para resolver o problema; (d) implementar e avaliar a solução; (e) testar a solução e avaliar a contribuição prática; (f) identificar e avaliar a contribuição teórica.

Lukka (2003) afirma ainda, que na última etapa existem dois tipos de contribuições teóricas potenciais: a primeira é o próprio artefato desenvolvido, considerado como um novo meio de alcançar determinados fins; e a segunda, a aplicação e desenvolvimento do conhecimento teórico durante a realização do estudo, compreendendo as relações entre os conceitos aplicados.

March e Smith (1995) explicam que os produtos desta estratégia de pesquisa são avaliados segundo critérios de valor ou utilidade. Além disso, os produtos são classificados em quatro tipos: constructos, modelos, métodos e instanciações (MARCH; SMITH, 1995). Segundo os mesmos autores, a pesquisa construtiva é composta por duas atividades básicas, sendo uma delas construir, que consiste no processo de construção de um artefato, e a outra avaliar, que consiste em determinar o desempenho do artefato.

Sein *et al.* (2011) afirmam que o desenvolvimento de artefatos na *design science research* pode estar diretamente relacionado com a pesquisa-ação. A pesquisa-ação combina a geração de teoria com a intervenção do pesquisador para resolver problemas organizacionais (BABUROGLU; RAVN, 1992). Diante da identificação desta relação, Sein *et al.* (2011)

propõem um novo método de pesquisa chamado *action design research*, no qual a pesquisa construtiva se baseia na pesquisa-ação, fornecendo orientação explícita para combinar o projeto, a intervenção e a avaliação do artefato. Nesta metodologia, o artefato é moldado pelo contexto organizacional durante o desenvolvimento e uso. Da mesma maneira, Cole *et al.* (2005) sugerem a adição de uma fase de "reflexão" para a *design science research* para aumentar o aprendizado; a adição de uma fase de "construção" na pesquisa-ação para concretizar a aprendizagem e enquadrar a produção de pesquisa-ação como um artefato da *design science*, como protótipos, *frameworks*, ou modelos; e, por fim, uma abordagem integrada de pesquisa que combina os dois. Estas contribuições são passos para o desenvolvimento de um método integrado entre *design science research* e pesquisa-ação.

A partir da escolha da pesquisa construtiva como abordagem metodológica, pode-se dizer que o principal resultado desta pesquisa é o desenvolvimento de um artefato, e que a metodologia também envolveu a pesquisa-ação para desenvolver um conceito de solução para o planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados.

## 4.2 DELINEAMENTO

O delineamento da pesquisa é apresentado na Figura 12, o mesmo encontra-se dividido em: (a) revisão bibliográfica; (b) fase de compreensão; (c) fase de desenvolvimento; e (d) fase de análise e reflexão. Essas fases seguem as etapas da pesquisa construtiva definidas por Holmstrom e Ketokivi (2009).

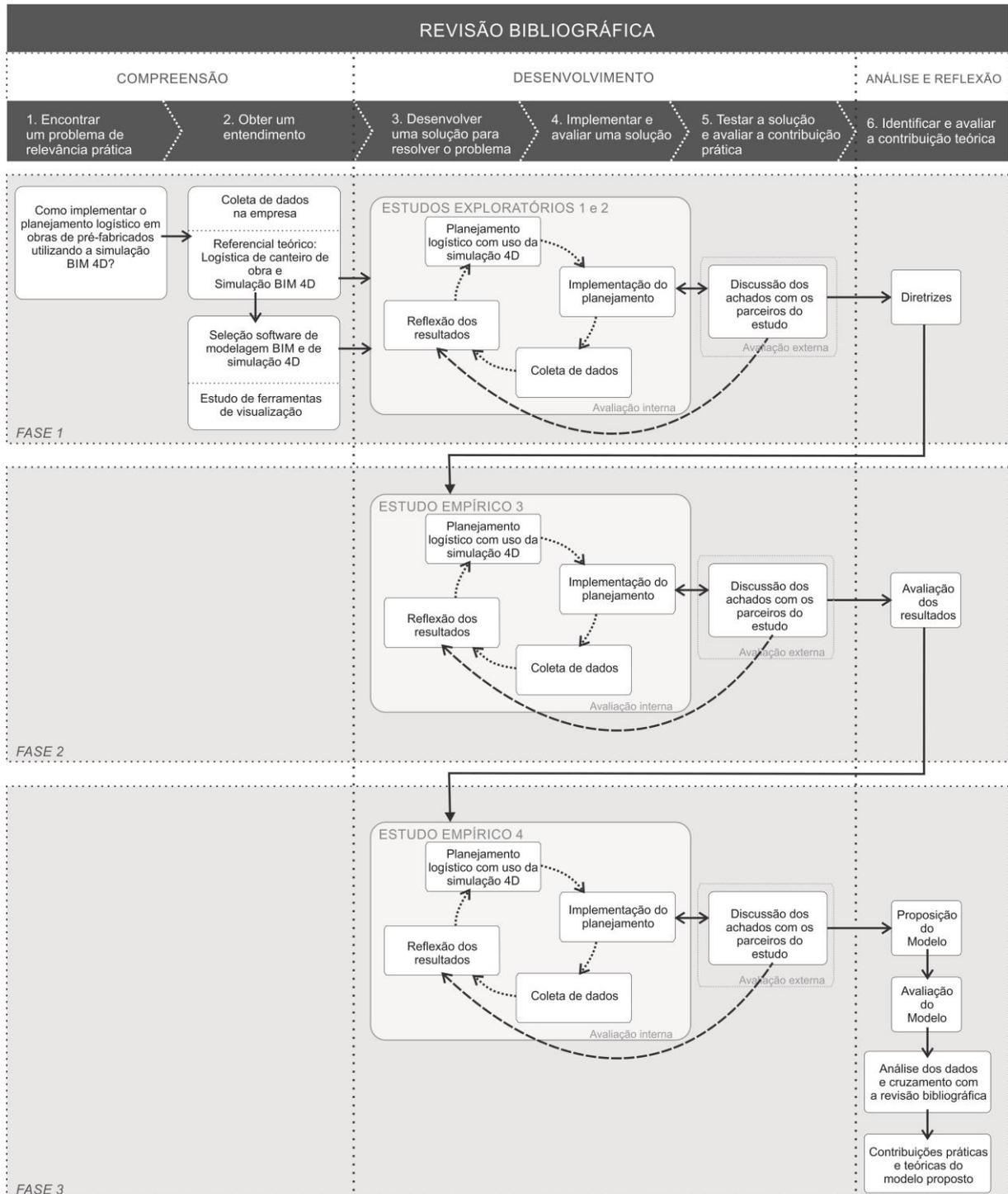


Figura 12 – Delineamento da pesquisa.

A revisão bibliográfica foi desenvolvida ao longo de todo o desenvolvimento da pesquisa a fim de obter uma base teórica. Buscou-se compreender os temas de planejamento e controle logístico, incluindo conceitos do projeto do sistema de produção, planejamento e controle da produção, *layout* e logística. Também fez parte da revisão bibliográfica os conceitos de BIM e simulação 4D, bem como trabalhos já desenvolvidos com simulação 4D no planejamento e controle logístico de canteiros de obras. Para mapeamento de pesquisas recentes sobre o uso

de modelos 4D no planejamento e controle logístico, foram aplicados alguns passos de uma revisão sistemática de literatura, a qual consistiu em definir um questão de pesquisa para nortear a seleção de artigos e posteriormente selecionar os artigos mais relevantes relacionados a este trabalho.

A fase de compreensão envolveu a busca de uma lacuna de conhecimento através de uma revisão bibliográfica inicial juntamente com uma compreensão do problema real nas obras da empresa analisada. Um diagnóstico da situação de três obras da empresa e entrevistas abertas com coordenadores e engenheiros foi realizado para obtenção deste problema real, descrito na seção 1.1. Encontrou-se, então, um problema com relevância prática que serviu como ponto de partida para a definição do problema de pesquisa desta dissertação. Através de um diagnóstico e da caracterização da empresa analisada, buscou-se verificar como ocorria o planejamento logístico dos canteiros das obras da empresa, incluindo a movimentação de materiais desde a fabricação até a chegada do material em obra. Esta fase também compreendeu a análise de *softwares* de modelagem BIM e simulação 4D, bem como do treinamento da pesquisadora nos *softwares* selecionados.

A segunda fase, de desenvolvimento, compreendeu os estudos exploratórios 1 e 2 e os estudos empíricos 3 e 4, ao longo dos quais foi desenvolvido o modelo. O estudo exploratório 1 compreendeu uma fase de entendimento e de caracterização da empresa analisada. Neste estudo foram realizadas simulações para identificação da melhor sequência de montagem e de recuperação de atrasos da obra. Além disso, foi testada a primeira implementação e controle do planejamento logístico em obra com painéis visuais no canteiro. O estudo exploratório 2 se caracterizou por um complexo horizontal composto por diversos edifícios, o que trouxe o desafio de simular a logística do descarregamento dos materiais de cada edifício buscando a otimização dos estoques. Os dois estudos contaram com uma avaliação externa por parte de representantes da empresa parceira do estudo (engenheiros e coordenadores), que consistiu em avaliar os resultados obtidos da implementação do planejamento e controle logístico.

A partir da reflexão das lições aprendidas nos estudos exploratórios, foi proposto um conjunto de diretrizes com os principais pontos a serem considerados no planejamento logístico. Estas diretrizes guiaram o desenvolvimento do estudo empírico 3. Neste estudo, houve um maior engajamento da empresa estudada e do cliente da obra para a realização da implementação e do controle logístico. Foram realizadas simulações 4D das etapas da obra com a definição do posicionamento dos estoques no canteiro. Houve um acompanhamento da implementação do

*layout* proposto e dos descarregamentos dos materiais, bem como a confecção de painéis visuais para disposição em obra. Este estudo compreendeu ainda, uma fase de análise mais detalhada de uma etapa da obra visando a otimização dos tempos de transporte, montagem e içamento das peças. A avaliação externa deste estudo foi realizada ao longo da implementação do planejamento e controle logístico com a participação dos engenheiros e coordenadores responsáveis pela obra.

A partir das reflexões do estudo empírico 3, o estudo empírico 4 foi desenvolvido. Neste último estudo, foram realizadas simulações 4D, incluindo atividades de diferentes empresas trabalhando simultaneamente no canteiro para identificação de restrições e conflitos de espaço no tempo. Este estudo também compreendeu uma fase de análise de um processo crítico.

O desenvolvimento do modelo de planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados consistiu em um processo que ocorreu ao longo dos 4 estudos. As definições e os achados para o desenvolvimento do modelo contou com a participação dos envolvidos das obras dos referidos estudos. Estes envolvidos (engenheiros, coordenadores, clientes das obras) auxiliaram nas descobertas e na elaboração dos pontos mais importantes do modelo. Essa participação foi importante tendo em vista que o modelo foi desenvolvido principalmente para apoiar a tomada de decisão dos gestores das obras, ou seja, o engenheiro e o coordenador responsável pela obra. O desenvolvimento do modelo também contou com a proposição de indicadores para avaliar o desempenho do plano logístico. Estes indicadores surgiram à medida que a coleta de dados dos estudos desenvolvidos foi realizada.

Após a proposição do modelo, a fase de consolidação envolveu a avaliação do modelo de planejamento e controle logístico proposto para obras de sistemas pré-fabricados. Nesta fase houve uma análise e reflexão a cerca dos resultados alcançados ao longo do desenvolvimento dos estudos empíricos. Ainda, o modelo proposto foi testado quanto sua utilidade e facilidade de uso. A partir desta análise buscaram-se as contribuições práticas e teóricas do modelo.

### 4.3 FASE DE COMPREENSÃO

Esta fase envolveu as seguintes atividades: (a) seleção dos *softwares* BIM e de simulação 4D a serem aplicados no trabalho; (b) o treinamento com modelagem e simulação; e (c) a caracterização e compreensão da empresa.

#### 4.3.1 SELEÇÃO DOS SOFTWARES DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A seleção dos *softwares* de modelagem BIM e simulação 4D foi realizada entre outubro de 2013 e janeiro de 2014, quando a aquisição dos *softwares* foi efetivada. Para a fase de seleção dos *softwares* utilizados neste trabalho, foi levada em consideração a experiência de estudos anteriores realizados no NORIE-UFRGS, os quais utilizaram *softwares* BIM e simulação 4D, e também a disponibilidade de adquirir licenças educacionais para fins de pesquisa.

Para modelagem em BIM foram testados as licenças educacionais dos *softwares* *Revit Architecture* (Autodesk) e *ArchiCAD* (Graphisoft). Além disso, foi realizado em 2013, um *workshop* com especialistas para discutir as funcionalidades destes *softwares*, bem como seus pontos positivos e negativos. A Figura 13 mostra alguns critérios analisados nas duas ferramentas que definiram a escolha do *software* a ser utilizado nesta pesquisa.

| <i>Crítérios</i>  | <i>Revit</i>  | <i>ArchiCAD</i>   |
|---|---|---|
| Necessidade de formatação inicial do programa para começar o modelo | pouca formatação  | pouca formatação  |
| Importação/exportação em IFC  | dificuldade de exportar em IFC  | facilidade de exportar em IFC   |
| Facilidade de uso   | média   | fácil   |
| Inserção e localização de informações no IFC                        | dificuldade de inserir informação no IFC<br>maior conforme detalhamento do modelo | facilidade de gestão de informações no IFC<br>arquivo não fica tão grande |

Figura 13 – Critérios para escolha do *software* de modelagem BIM.

Considerando a facilidade de importar e exportar arquivos, a facilidade da interface apresentada pelo programa, bem como a facilidade de exportar os arquivos em IFC, foi escolhido o *ArchiCAD* para utilizar na modelagem BIM.

Para escolha do *software* de simulação 4D, foi feita uma busca bibliográfica para identificar o melhor *software* disponível para realizar simulações. Fischer e Somu (2012) avaliaram três *softwares* de simulação 4D (*Vico Office*, *Autodesk Navisworks Simulate*, e *Synchro Professional*) através de três estudos de caso, nos quais os autores mediram o tempo requerido para cada processo necessário para criar um modelo 4D com relação a: importar e criar elementos, importar e criar planos de atividades, ligar elementos com o plano de atividades, e visualizar o modelo 4D.

Segundo os resultados dos estudos de Fischer e Somu (2012), o *Synchro Professional* foi considerado a melhor ferramenta para a modelagem de objetos dentro do ambiente de

ferramentas de 4D. Se comparado com outro *software* de simulação 4D, tal como o *Autodesk Navisworks Simulate*, o *Synchro Professional* leva 56% do tempo necessário para fazer a vinculação de elementos do produto para programar atividades (FISCHER; SOMU, 2012). Além disso, os mesmos autores consideram uma grande vantagem do *Synchro Professional* a possibilidade do usuário aumentar o nível de detalhe dentro da própria ferramenta, adicionando elementos simples para o modelo 3D dentro do próprio programa, bem como dividindo elementos já existentes em subcomponentes. Já no *Autodesk Navisworks Simulate*, o usuário é forçado a voltar para ferramenta de modelagem 3D para alterar algum detalhe e voltar para o modelo 4D novamente (FISCHER; SOMU, 2012).

A partir desta análise, e com a possibilidade de adquirir uma licença educacional, o resultado foi a escolha do *software Synchro* para utilização neste trabalho.

#### 4.3.2 TREINAMENTO DOS SOFTWARES

A realização do treinamento ocorreu através da utilização de tutoriais e aulas *online* disponíveis nas plataformas dos próprios *softwares*. A partir da leitura de manuais, houve a familiarização com os *softwares* com o uso prático de modelos de teste para posteriormente realizar a modelagem dos estudos do trabalho.

#### 4.3.3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa X foi fundada em 1967 no Rio Grande do Sul, e vem se desenvolvendo e atuando no segmento de mercado de estruturas metálicas para a construção civil. A empresa é considerada a maior fabricante de estruturas metálicas no Brasil, contando com mais de 2 mil trabalhadores, três fábricas, e cerca de duzentos contratos simultâneos. Historicamente, a empresa tem o segmento construtivo metálico como principal diferencial competitivo quanto a prazos de entrega das obras.

As obras da empresa são divididas em três tipos de sistemas: sistemas multi-andares, sistemas construtivos e sistemas estruturais. O sistema multi-andares é caracterizado por uma solução rápida e permite que obras com finalidade comercial, como edifícios de escritórios, hospitais, hotéis, shopping centers e estacionamentos, sejam construídos em metade do tempo habitual. Nos sistemas construtivos, os empreendimentos são classificados de acordo com o negócio que será instalado no estabelecimento, podendo ser classificado quanto: (a) tipo A: centros de distribuição, supermercados e galpões para locação, são obras consideradas pela empresa como de menor complexidade; (b) tipo B: obras destinadas a instalação de indústrias,

possuem sobrecargas estruturais mais significativas atingindo níveis médios de complexidade de projeto e montagem; e (c) tipo C: reúne as obras mais complexas e menos padronizadas, tais como aeroportos e shopping centers. Por último, o sistema estrutural é caracterizado por obras viárias como pontes e viadutos.

Em relação à estrutura organizacional da empresa, tem-se o presidente da empresa, seguido pelos diretores, gerentes e coordenadores de cada departamento. O papel dos coordenadores das obras é importante ressaltar para este trabalho, pois se trata de engenheiros com bastante experiência em obra com o papel de supervisionar e orientar os engenheiros de várias obras simultaneamente.

Além do projeto e fabricação, a empresa é responsável pela montagem de seus produtos. Os setores da empresa são apresentados na Figura 14 como fonte de produtos (materiais e informações). As macro-etapas envolvidas na realização de empreendimentos são as seguintes: (a) venda e captura dos requisitos do cliente realizada no setor comercial; (b) orçamento da obra com base no peso da estrutura; (c) planejamento de longo prazo por edificação; (d) desenvolvimento de projetos, realizado no setor de engenharia; (e) setor de planejamento e controle da produção dos produtos; (f) produção das peças metálicas na fábrica; (g) logística da fábrica e da obra para montagem das cargas e entrega em obra, no qual este trabalho está inserido; e, por último, (h) montagem das peças em obra.



Figura 14 – Fluxo de produtos (materiais e informações) da empresa.

O produto da empresa (empreendimento) é dividido primeiramente em etapas de montagem. A divisão do empreendimento em etapas visa à redução do tamanho do lote dos empreendimentos, a fim de diminuir o *lead time* de projeto, ou seja, o tempo necessário para uma solução ou decisão de projeto atravessar todas as etapas do processo. Além disso, a separação em etapas auxilia a obtenção de lotes de produção similares para uma mesma obra, possibilitando a utilização por todos os setores da empresa para facilitar a gestão do empreendimento.

Posteriormente, cada etapa do empreendimento é dividida pelo setor de planejamento da empresa em subetapas. As subetapas variam de acordo com as características de cada produto,

mas em geral são: chumbação, estrutura principal (pórticos), estrutura secundária (terças, treliças planas ou espaciais), fechamentos verticais e horizontais (telhas, zenital e lanternim).

Os processos de projeto e produção da empresa têm passado por diversas mudanças desde 2006, quando foi iniciado um programa de implementação de conceitos e princípios da produção enxuta. Uma mudança de grande importância para a empresa foi a implementação de eventos *kaizen*. Estes eventos são realizados quando um problema é identificado na empresa. Os trabalhadores e gerentes se reúnem em uma sala para discutir possíveis soluções e fazer uma apresentação formal da solução proposta. Desde que esta iniciativa iniciou, existem aproximadamente 300 projetos de melhorias. A redução do lote em etapas e subtapas descritos anteriormente, surgiu a partir de um *kaizen* realizado na empresa. Esta iniciativa trouxe muitos benefícios tendo em vista que cada produto da obra pode ser montado independentemente e podem ser produzidos em sequência na fábrica, configurando uma maneira mais simples de controle de peças.

O setor de logística, etapa que antecede a montagem, será foco desta pesquisa. Apesar do foco do trabalho incidir na logística das obras da empresa, as ações tomadas influenciarão tanto a montagem quanto a logística da fábrica.

#### 4.4 FASE DE DESENVOLVIMENTO

Nesta seção são descritas as técnicas e métodos de coleta de dados utilizados em cada estudo desenvolvido. Primeiramente é apresentado o processo de modelagem o qual foi similar em todos os estudos.

##### 4.4.1 PROCESSO DE MODELAGEM

O processo de modelagem BIM e simulação 4D foi similar em todos os estudos desta pesquisa. Os arquivos de entrada para a modelagem BIM foram desenhos de fabricação e projeto arquitetônico das edificações, ambos em AutoCAD 2D. Apenas o estudo exploratório 1 contou com projeto 3D em formato IFC fornecido pela empresa. Os demais empreendimentos dos estudos foram modelados pela pesquisadora no *software* BIM *ArchiCAD 16*.

Após a modelagem BIM, utilizou-se o *software* *Synchro version 4.10.2.0* para realizar as simulações com a utilização de planos de atividades. Após o estudo de sequência de execução

das atividades de montagem realizado com a linha de balanço, houve uma adaptação da linha de balanço para um plano em formato de datas para o arquivo ser importado no *Synchro*. A última etapa é a exportação da simulação em formato de vídeos. Equipamentos temporários, tais como guindaste, plataformas articuladas e caminhões foram inseridos através da própria biblioteca do *Synchro*. A Figura 15 mostra a fase de modelagem com os diferentes *softwares* envolvidos.

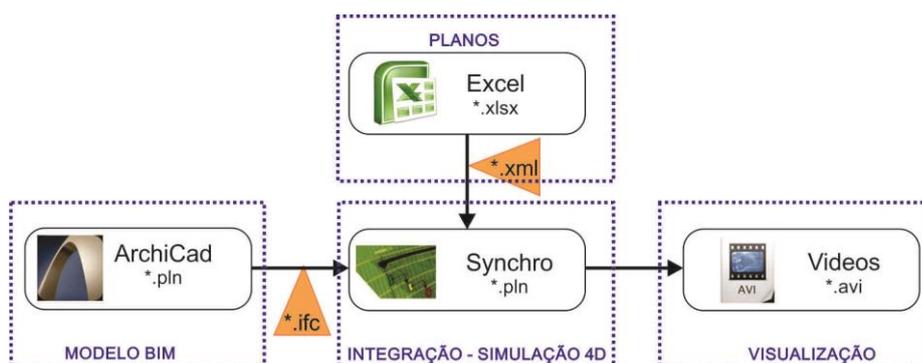


Figura 15 – *Softwares* envolvidos na modelagem.

A utilização de modelos 3D modelados em *software* BIM para utilização nas simulações 4D foram importantes devido a facilidade de manipular alterações no *software* BIM. Esta facilidade permitiu o desenvolvimento de maiores revisões no modelos e, conseqüentemente, o desenvolvimento de mais análises de planos.

#### 4.4.2 MÉTODOS E TÉCNICAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

As técnicas de coleta e análise de dados utilizadas neste trabalho para compor as evidências dos objetivos da pesquisa são descritas a seguir.

##### 4.4.2.1 Observação Direta e Registro Fotográfico

A observação é um tipo de registro importante das características relevantes dos estudos de caso. Segundo Yin (2003), a observação direta pode ser realizada informalmente ou de forma sistemática a partir da utilização de protocolos para medir incidências de certos tipos de comportamentos durante períodos de tempo determinados. Essas observações são úteis para fornecer informações adicionais sobre o objeto de estudo e as fotografias auxiliam na transmissão destas características (YIN, 2003).

As observações dos estudos foram realizadas ao longo do desenvolvimento das obras analisadas, com o foco de identificar evidências da operacionalização do plano logístico com o cumprimento do plano proposto.

Nos empreendimentos dos estudos não houve uma coleta de dados sistemática, foram realizadas observações participantes nas reuniões de planejamento de maneira informal utilizando um caderno de campo. O caderno de campo auxilia para apoiar o registro da observação direta e participante, sendo utilizado durante todo o desenvolvimento dos estudos, como forma de registro de reuniões e anotações importantes dos acontecimentos dos estudos.

O registro fotográfico do estudo exploratório 1 ocorreu semanalmente para ajudar a avaliar o atendimento do plano proposto. No estudo exploratório 2 foi feito registro fotográfico de 3 dias. Já no estudo empírico 3, a coleta de dados ocorreu através da utilização de um protocolo de coleta de dados. A coleta era sempre feita ao chegar alguma carga de material para ser descarregada em obra. Nos dias que a pesquisadora estava em campo, ela mesma coletava os dados. Nos demais dias, teve-se auxílio de uma *trainee* na obra para realização da coleta. Por fim, o estudo empírico 4 também contou com registro fotográfico e observação direta em obra por um período de 3 dias.

As observações diretas em campo e o registro fotográfico foram importantes para esta pesquisa para posteriormente comparar as imagens do executado em obra com o plano proposto. As imagens da obra foram comparadas com imagens capturadas da simulação 4D para identificação de desvios no plano logístico.

#### 4.4.2.2 Observação Participante

Yin (2003) afirma que a observação participante é uma modalidade de observação na qual o pesquisador não é apenas um observador passivo, ele assume uma variedade de papéis dentro do estudo participando dos eventos que estão sendo estudados.

Como o foco deste trabalho refere-se ao desenvolvimento do plano logístico através do uso da simulação 4D, a observação participante foi uma das principais ferramentas utilizadas neste trabalho. Na participação das reuniões para o desenvolvimento do plano logístico dos quatro estudos, a pesquisadora assumiu um papel ativo na implementação e desenvolvimento do plano ao manipular a ferramenta e promover discussões a cerca dos cenários simulados e dos conflitos que a ferramenta de simulação explicitava. Este papel atuante do pesquisador é típico de muitos estudos na pesquisa construtiva.

#### 4.4.2.3 Análise de Documentos

Conforme Yin (2003), o uso mais importante de documentos é comprovar e valorizar as evidências provenientes de outras fontes. Além disso, a partir da análise documental, é

possível fazer inferências importantes para os estudos e também conhecer melhor todos os processos da empresa.

A análise documental foi utilizada durante a realização dos estudos e apoiou o desenvolvimento dos planos logísticos dos empreendimentos analisados. Alguns documentos como planilhas de planejamento de longo e médio prazo, entre outros, foram fontes de evidência para os estudos. Os principais documentos utilizados na execução dos modelos de simulação 4D foram: arquivos de plano de longo prazo como linhas de balanço elaboradas pela empresa; arquivos em CAD 2D dos projetos dos empreendimentos para a modelagem em BIM; e manuais de instruções de montagem fornecidos pela empresa.

#### 4.4.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO 1

##### 4.4.3.1 Descrição do empreendimento L

O estudo exploratório 1 foi realizado na construção de um hotel pertencente a uma rede hoteleira de categoria econômica. A obra se constituiu de um edifício de 4 andares de estacionamento ao fundo do terreno e outro edifício de 8 andares de hotel, totalizando em torno de 7 mil metros quadrados. A Figura 16 ilustra uma imagem da implantação e uma fachada do empreendimento. Esta obra se caracterizou pelo sistema multi-andares da empresa X e se localizava em um bairro central da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Esta região é caracterizada por uma alta densificação, sendo que os terrenos possuem pouco acesso para movimentação de equipamentos e são estreitos e profundos.

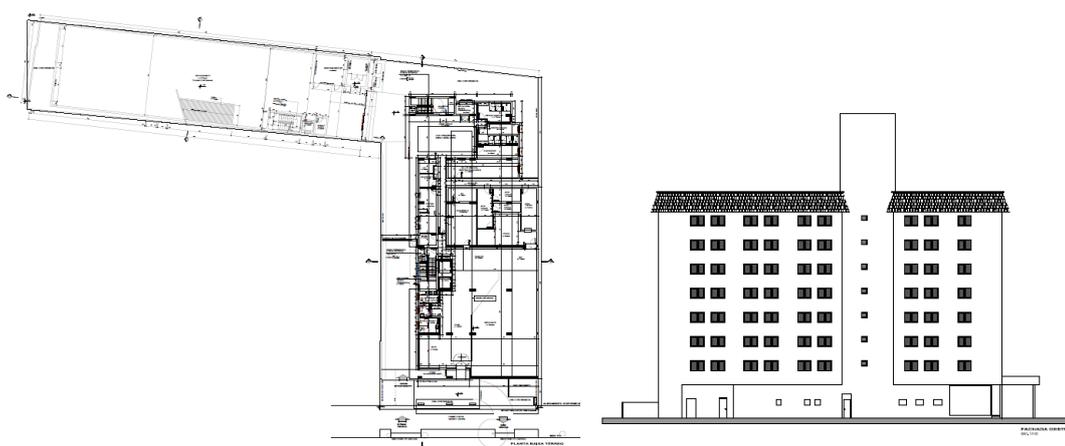


Figura 16 – Implantação e fachada do empreendimento L.

Os produtos e serviços executados pela empresa X neste empreendimento foram: projeto de fabricação, fabricação e montagem da estrutura principal (pilares, vigas e contraventos),

aplicação de proteção passiva na estrutura, estrutura do telhado e escadas. Coube a empresa X a contratação de terceiros para a realização do fechamento da fachada que consistiu em placas cimentícias, da montagem da laje e da instalação de banheiros prontos.

As atividades de montagem do empreendimento estavam previstas para iniciar em julho de 2013, com previsão de finalização de montagem do prédio do estacionamento em 30 dias úteis e do hotel em 70 dias úteis. No entanto, o início de fato ocorreu em dezembro de 2013 em função do atraso na liberação do terreno pela equipe de terraplanagem e de execução das fundações. Sendo assim, a obra estava com um grande atraso, e o prazo de entrega do empreendimento se tornou pequeno, tendo a necessidade de um estudo a fim de possibilitar a visualização de cenários alternativos para a montagem da obra em menos tempo.

A equipe da obra constituía-se de um engenheiro com dedicação exclusiva, um técnico de segurança e um coordenador de obra. A obra possuía três equipes de operários, sendo uma para a montagem da estrutura principal e estrutura do telhado, uma equipe para concretagem e escoramento da laje, e uma equipe para aplicação de proteção passiva na estrutura.

#### 4.4.3.2 Métodos e técnicas de coleta de dados

O desenvolvimento do estudo teve início no mês de agosto de 2013 e durou até fevereiro de 2014. Primeiramente, foram realizadas reuniões com o coordenador e o engenheiro da obra, para um melhor entendimento das etapas da obra, dos produtos envolvidos neste empreendimento e entendimento das características da empresa.

Os elementos da obra foram vinculados com o plano de atividades fornecido pela empresa e foram gerados alguns cenários de execução da obra utilizando o *software* de simulação 4D. A partir dos cenários gerados, foram realizadas oito reuniões, com aproximadamente uma hora e meia de duração, para discussão e aprimoramento do modelo. As reuniões sempre ocorriam com o uso da ferramenta de simulação 4D, com a qual foram detectados conflitos e interferências que a obra poderia sofrer, de acordo com o plano de ataque da obra, com o tipo de equipamento a ser utilizado, bem como com a localização das áreas de estoque. O planejamento logístico da obra teve um caráter interativo por envolver algumas pessoas (coordenador, engenheiro, mestre de obra). A Figura 17 apresenta o cronograma da realização deste estudo.

| ATIVIDADES   | ago/13 | set/13 | out/13 | nov/13 | dez/13 | jan/14 | fev/14 | mar/14 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Coleta de dados na empresa                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Reuniões para definição do plano logístico e <i>layout</i> |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Proposição do modelo                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Refinamento do plano                                       |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Apresentação resultados e discussão com empresa            |        |        |        |        |        |        |        |        |

Figura 17 – Cronograma de realização do estudo exploratório 1.

A Figura 18 mostra os objetivos e as fontes de evidências utilizadas neste estudo.

| Etapa                        | Ações e evidências   | Objetivo   |
|------------------------------|--|--|
| Preparação para o estudo     | Entrevista   | Entender o fluxo dos processos entre os departamentos da empresa e as principais interações entre eles   |
|                              | Observação direta: Visita à fábrica e ao pátio da empresa                            | Entender o fluxo de processo de fabricação e do departamento de logística  |
|                              | Observação direta: Visita ao terreno do empreendimento a fase de terraplanagem       | Uma visita com média de 1 hora com o engenheiro da obra para identificar as principais características do terreno e suas implicações no planejamento da obra     |
| Modelagem BIM 4D             | Projetos de fabricação, projeto arquitetônico, modelo 3D (ifc)                       | Modelar o empreendimento em BIM  |
|                              | Análise de documentos: instruções de montagem, plano de atividades, linha de balanço | Modelar estratégias de execução do empreendimento através da simulação 4D  |
| Aplicação do plano logístico | Aprimoramento do modelo de simulação   | Oito reuniões com duração média de 1 hora para discutir e encontrar a melhor solução para execução do empreendimento e para organização do <i>layout</i> da obra |
|                              | Painéis visuais com imagens do plano logístico capturadas dos modelos BIM 4D         | Tornar visual e fácil acesso o plano logístico no canteiro de obra   |
|                              | Observação participante  | Participação em oito reuniões de planejamento de curto prazo com duração de 30min para análise das ferramentas propostas (simulação 4D e painéis visuais)        |
| Coleta de dados              | Registro fotográfico   | Comparar o desempenho e a efetividade do plano logístico   |
|                              | Observação direta  | Nove visitas à obra com média de duração de 1h com o foco de analisar o impacto das mudanças no plano logístico proposto   |

Figura 18 - Objetivos de cada fonte de evidência.

#### 4.4.4 ESTUDO EXPLORATÓRIO 2

##### 4.4.4.1 Descrição do empreendimento M

O estudo exploratório 2 foi realizado na construção de uma fábrica de automóveis, denominada empreendimento M. A obra se caracterizava pelo sistema construtivo da empresa X e se localizava em Pernambuco. O empreendimento comporta um complexo polo automotivo, composto pela fábrica, parque de fornecedores, centro de treinamento, centro de pesquisa e desenvolvimento, pista de testes e campo de provas. A obra executada pela empresa X dentro deste polo automotivo consistiu em cerca 200 mil metros quadrados, contendo nove pavilhões industriais como escopo de montagem. A Figura 19 ilustra uma imagem do empreendimento M.



Figura 19 – Imagem do empreendimento M.

Os produtos e serviços executados pela empresa X neste empreendimento foram: projeto de fabricação, fabricação, montagem da estrutura principal (vigas), montagem da estrutura secundária (treliças espaciais e contraventos), montagem da cobertura e fechamento lateral em telha. Os pilares foram pré-moldados de concreto executados por outra empresa.

A equipe da obra constituiu-se de um engenheiro com dedicação exclusiva a essa obra, um técnico de segurança e um coordenador de obra. Além disso, foram contratadas quatro empresas diferentes para montagem da estrutura.

O início deste estudo ocorreu em dezembro de 2013 paralelamente com a finalização do estudo exploratório 1. O estudo foi interrompido em fevereiro de 2014, pois a empresa X logo em seguida do início do estudo fechou contrato para realização de outra obra denominada de empreendimento N, que foi considerada pela empresa X como prioridade para a

implementação de planejamento logístico com o uso de BIM 4D. Em função disto, este estudo exploratório teve uma curta duração.

#### 4.4.4.2 Métodos e técnicas de coleta de dados

A primeira reunião com os responsáveis por esta obra ocorreu no final de novembro de 2013, com o coordenador da obra e o coordenador de logística da fábrica da empresa X para discutir os principais pontos a serem considerados neste estudo. O principal possível conflito identificado nesta obra pelos envolvidos foi a grande probabilidade de mistura de peças devido aos nove prédios que seriam executados e as quatro diferentes empresas montadoras. No total, foram realizadas 4 reuniões na empresa X sobre este empreendimento e uma visita a obra com duração de uma semana.

Em função da grande probabilidade de mistura de peças, este estudo se focou inicialmente na organização das áreas de estocagem dos três primeiros prédios a serem executados. Foram definidas as áreas de estocagem na simulação 4D. Os pilares pré-moldados de concreto – escopo de outra empresa – também foram inseridos no modelo para verificar a interferência com as atividades de montagem da empresa X.

Outra característica desta obra, foi que a fábrica da empresa adotou a premissa de separar os nove prédios por cores. Através desta separação por cores, foram confeccionadas etiquetas coloridas na fábrica para a identificação dos materiais.

A Figura 20 apresenta o cronograma de desenvolvimento deste estudo.

| ATIVIDADES   | dez/13 | jan/14 | fev/14 |
|--|--------|--------|--------|
| Coleta de dados na empresa                                 |        |        |        |
| Reuniões para definição do plano logístico e <i>layout</i> |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |
| Reflexão   |        |        |        |

Figura 20 – Cronograma de realização do estudo exploratório 2.

A Figura 21 mostra os objetivos e as fontes de evidências utilizadas em cada uma das etapas deste estudo.

| Etapa                        | Ações e evidências   | Objetivo   |
|------------------------------|--|--|
| Preparação para o estudo     | Entrevista: coordenador obra e engenheiro obra                                       | Entender as características da obra, os processos construtivos, a logística da obra e as possíveis dificuldades da obra                  |
|                              | Observação direta: Visita à obra   | Três visitas para identificar as principais características do terreno e suas implicações no planejamento da obra                        |
| Modelagem BIM 4D             | Projetos de fabricação, projeto arquitetônico  | Modelar o empreendimento em BIM  |
|                              | Análise de documentos: instruções de montagem, plano de atividades, linha de balanço | Modelar estratégias de execução do empreendimento através da simulação 4D  |
| Aplicação do plano logístico | Aprimoramento do modelo de simulação   | 4 reuniões para discutir e encontrar a melhor solução para execução do empreendimento e para organização do <i>layout</i> da obra        |
|                              | Painéis visuais com imagens do plano logístico capturadas dos modelos BIM 4D         | Tornar visual e fácil acesso o plano logístico no canteiro de obra   |
|                              | Observação direta  | Três visitas à obra com duração de 4h com o foco de analisar o impacto das mudanças no plano logístico proposto para este empreendimento |

Figura 21 - Objetivos de cada fonte de evidência.

#### 4.4.5 ESTUDO EMPÍRICO 3

##### 4.4.5.1 Descrição do empreendimento N

O estudo empírico 3 consistiu em uma obra de uma nova fábrica de motores de uma empresa automobilística, denominada nesta pesquisa de empreendimento N. O cliente era uma empresa líder na utilização de princípios *lean* nas suas fábricas automotivas. A obra se caracterizou pelo sistema construtivo da empresa X, consistindo em um galpão industrial com cerca de 20 mil metros quadrados localizado em São Paulo. A Figura 22 ilustra o empreendimento.

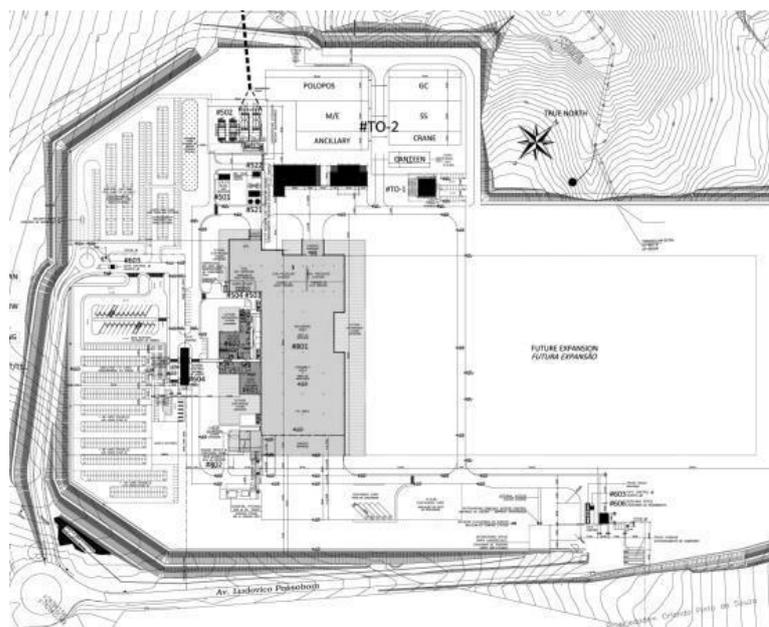


Figura 22 – Implantação do empreendimento N.

Os produtos e serviços executados pela empresa X neste empreendimento foram: projeto de fabricação, fabricação e montagem da estrutura principal (pórticos metálicos), montagem da estrutura secundária (treliças espaciais e contraventamentos), montagem cobertura e fechamento lateral em telha com isolamento térmico (lã de rocha). Toda parte de estrutura metálica fez parte do escopo da empresa X, enquanto os pilares pré-moldados de concreto foram executados por outra empresa construtora.

A equipe da obra constituía-se de dois engenheiros, um técnico de segurança, um coordenador de contratos e um coordenador de obra. A equipe de montagem era constituída por uma única empresa montadora que foi aumentando seu efetivo ao passar do tempo de execução da obra. O número de operários no pico da obra foi de 27 pessoas.

#### 4.4.5.2 Métodos e técnicas de coleta de dados

As atividades deste estudo iniciaram em abril de 2014 com a participação em uma primeira reunião com o cliente. Nesta reunião estava presente o cliente, representado pelo diretor e pelo coordenador dos *sites* das obras da empresa, bem como pelo coordenador de montagem e coordenador de obra da empresa X responsáveis por esta obra. Nesta reunião foi apresentada a primeira proposta do plano logístico contendo o plano de ataque de execução da obra para o cliente, bem como a solicitação de uma área para estocagem de materiais e de pré-montagem das treliças espaciais. O convencimento do cliente da necessidade real de uma área de estoque foi muito importante tendo em vista o espaço requerido para pré-montagem das treliças em

solo. Além disso, a reunião também foi importante para que os representantes do cliente conhecessem esta pesquisa.

O estudo estendeu-se até o mês de agosto de 2014 com acompanhamento semanal no início da obra e quinzenal após 4 semanas. Neste período foram realizadas visitas à obra para implementação do trabalho proposto, com refinamentos ao longo do processo e controle da implementação. A construção do modelo de planejamento logístico ocorreu ao longo do desenvolvimento do estudo e pode ser caracterizado pelo caráter interativo, pois houve colaboração com diversas pessoas envolvidas na obra (coordenadores, engenheiros, cliente) e setores da empresa X (fábrica, logística e montagem).

O estudo nesta obra fez parte de um estudo maior, no qual compreendeu outros pesquisadores do NORIE-UFRGS. Uma pesquisadora realizou um estudo na logística da fábrica da empresa X, através de implementação de melhorias no plano carregamento das peças para entregar os materiais na obra o mais próximo possível da sequência de montagem. Outro pesquisador realizou um estudo sobre a padronização de operações de montagem das treliças. Ambos os estudos tiveram uma forte interação com o planejamento logístico da obra, influenciando as operações de descarregamento e de movimentação de componentes na obra.

A partir da implementação do plano logístico proposto em obra, foram coletados dados de controle da obra, através do acompanhamento do descarregamento de materiais e da utilização de um protocolo de coleta de dados (Apêndice A). Esse protocolo passou por refinamentos a medida que foram identificadas melhorias para facilitar o preenchimento. O protocolo foi montado com base nas características de controle logístico mais importantes encontradas na literatura (ver seção 2.2) e também as julgadas importantes para este contexto pela pesquisadora. Foram também coletados dados importantes relacionados à segurança das operações de descarregamento de componentes buscando retroalimentar o setor de logística da fábrica, de forma a se buscar melhorias.

Em seguida, foi feito um estudo mais detalhado de um processo crítico na obra. O processo escolhido foi a montagem e o içamento das treliças espaciais de uma etapa da obra. Esse processo representava uma considerável parcela do peso total da estrutura de aço. Esse processo também foi modelado em BIM, sendo feita uma simulação 4D contendo informações de estocagem de materiais, localização e sequência de pré-montagem e içamento. Para realização deste trabalho foram coletados dados de tempo de montagem com base nas etapas anteriores que já haviam sido concluídas.

Esta pesquisa também utilizou planos de atividades de empresas terceiras fornecidos pelo cliente. Algumas reuniões com o cliente foram realizadas para discussão das simulações de execução do *layout* da obra e acompanhamento da pesquisa que estava sendo realizada.

A Figura 23 ilustra o cronograma do desenvolvimento do estudo empírico 3.

| ATIVIDADES   | abr/14 | mai/14 | jun/14 | jul/14 | ago/14 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Coleta de dados na empresa                                 |        |        |        |        |        |
| Reuniões para definição do plano logístico e <i>layout</i> |        |        |        |        |        |
| Proposição do modelo                                       |        |        |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |        |        |
| Estudo de uma operação crítica                             |        |        |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |        |        |
| Apresentação resultados e discussão com empresa            |        |        |        |        |        |

Figura 23 – Cronograma de execução do estudo empírico 3.

A Figura 24 mostra os objetivos e as fontes de evidências utilizadas neste estudo.

| Etapa                        | Ações e evidências  | Objetivo   |
|------------------------------|---|--|
| Preparação para o estudo     | Entrevista: coordenador obra e engenheiro obra  | Entender as características da obra, os processos construtivos, a logística da obra e as possíveis dificuldades da obra  |
|                              | Observação direta: Visita ao terreno do empreendimento na fase de terraplanagem             | 1 visita à obra com duração de 2 horas para identificar as principais características do terreno e suas implicações no planejamento da obra  |
|                              | 1ª Reunião com cliente em fábrica existente em Sorocaba                                     | Reunião de 1 hora com o cliente e coordenadores da obra para apresentar primeira versão da proposta do plano logístico e sistema de planos de cargas para a entrega dos materiais  |
| Modelagem BIM 4D             | Projetos de fabricação, projeto arquitetônico   | Modelar o empreendimento em BIM  |
|                              | Análise de documentos: instruções de montagem, linha de balanço                             | Modelar estratégias de execução do empreendimento através da simulação 4D  |
|                              | Planos de execução de pilares e piso fornecidos pelo cliente                                | Modelar e identificar possíveis interferências entre as atividades de outras empresas e da empresa X   |
| Aplicação do plano logístico | Aprimoramento do modelo de simulação com a participação do engenheiro e coordenador da obra | Quatro reuniões com duração de 1 hora para discutir e encontrar a melhor solução para execução do empreendimento e para organização do <i>layout</i> da obra   |
|                              | Painéis visuais com imagens do plano logístico capturadas dos modelos BIM 4D                | Tornar visual e fácil acesso o plano logístico no canteiro de obra   |
|                              | Observação participante   | Participação em 4 reuniões de planejamento com o cliente com duração média de 30min para discussão do andamento da obra, para análise das ferramentas propostas e para identificação de possíveis interferências com demais empresas |
|                              | Reuniões com cliente  | 4 reuniões com o cliente para apresentar o plano do <i>layout</i> proposto e discutir melhorias  |
| Coleta de dados              | Registro fotográfico  | Comparar o desempenho e a efetividade do plano logístico   |
|                              | Observação direta   | Quinze visitas à obra com o foco de analisar o plano logístico proposto e nos planos de cargas propostos para este empreendimento  |
|                              | Reunião na fábrica da empresa X   | 1 reunião com duração de 1 hora com diretor de engenharia e coordenador de logística da fábrica para relatar um retorno para logística da fábrica a respeito dos planos de carga   |
|                              | Análise de tempos de montagem   | Identificar a atividade crítica na execução de pré-montagem de treliças para aprimoramento deste processo através de estudo de simulação 4D  |
|                              | <i>Workshop</i> na fábrica da empresa X   | Reunião de 2h com diretor de engenharia, coordenadores de projeto, coordenadores de obra, coordenador de melhoria contínua, coordenador de logística para disseminação dos resultados, discussão de melhorias a serem adotadas       |

Figura 24 – Objetivos de cada fonte de evidência.

#### 4.4.6 ESTUDO EMPÍRICO 4

##### 4.4.6.1 Descrição do empreendimento O

O empreendimento O consistiu em um centro logístico, caracterizado pelo sistema construtivo da empresa X e localizado na cidade do Rio de Janeiro. A área do galpão principal contou com aproximadamente 134 mil metros quadrados, compreendendo 314 docas expedição, 114 vagas para carretas e 210 vagas para carros. A Figura 25 ilustra o empreendimento.

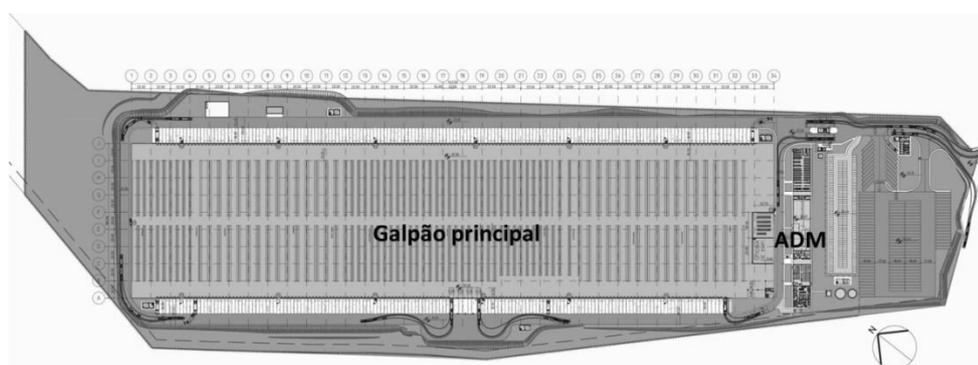


Figura 25 – Implantação do empreendimento O.

O escopo de montagem da empresa X compreendeu apenas as atividades da cobertura: vigas pórticos, treliças espaciais, travamentos e telha de cobertura. Os pilares foram pré-moldados de concreto, executados por outra empresa. O fechamento lateral foi executado por outra empresa, configurando um sistema construtivo denominado *tiltup*. Este sistema consiste na execução de grandes painéis de concreto armado na posição horizontal. Os mesmos são levantados e instalados na posição vertical e local definitivo. Os painéis permanecem escorados provisoriamente até a execução da estrutura definitiva de contraventamento, que no caso desta obra era feito através de treliças espaciais. Em vista disso, havia uma grande interdependência entre a execução da estrutura metálica e das paredes externas de concreto armado.

A equipe desta obra consistia de um coordenador de obra, dois engenheiros de obra, um técnico de segurança e um técnico de edificações. O técnico de edificações era responsável pelo controle e pelo descarregamento de todo material da empresa X. A equipe de montagem era constituída por uma única empresa montadora que foi aumentando seu efetivo ao passar do tempo de execução da obra.

#### 4.4.6.2 Métodos e técnicas de coleta de dados

Este estudo teve duração de dois meses, iniciando as atividades em novembro de 2014 com a modelagem BIM do empreendimento. O acompanhamento presencial na obra ocorreu na segunda semana do mês de dezembro com duração de 3 dias. Nos demais dias foi realizado um acompanhamento à distância, através de contato por *e-mail* e análise de relatórios dos engenheiros da obra e do técnico de edificações que era responsável pelo controle de todo material.

Esta pesquisa também utilizou planos de atividades de empresas contratadas diretamente pelo cliente. Foram utilizados planos de pilares pré-moldados de concreto, planos de execução do *tiltup*, de execução do piso e de drenagem. Estes documentos foram inseridos na simulação 4D para análise de interferências. Após, foi realizada uma reunião com o cliente para apresentação desta análise, para discussão de dois diferentes planos de ataque de execução da obra, bem como do *layout* com os acessos de equipamentos no canteiro.

A Figura 26 ilustra o cronograma do desenvolvimento do estudo empírico 4.

| ATIVIDADES   | nov/14 | dez/14 | jan/15 |
|--|--------|--------|--------|
| Coleta de dados na empresa                                 |        |        |        |
| Reuniões para definição do plano logístico e <i>layout</i> |        |        |        |
| Proposição do modelo                                       |        |        |        |
| Coleta de dados na obra                                    |        |        |        |
| Apresentação resultados e discussão com empresa            |        |        |        |

Figura 26 - Cronograma de execução do estudo empírico 4.

A Figura 27 mostra os objetivos e as fontes de evidências utilizadas neste estudo.

| Etapa                        | Ações e evidências   | Objetivo   |
|------------------------------|--|--|
| Preparação para o estudo     | Entrevista: coordenador obra e engenheiro obra   | Entender as características da obra, os processos construtivos, a logística da obra e as possíveis dificuldades da obra  |
|                              | Observação direta: Visita ao terreno do empreendimento   | Identificar as principais características do terreno e suas implicações no planejamento da obra  |
|                              | 1 Reunião com cliente em obra  | 1 reunião de duração de 1 hora para apresentar primeira versão da proposta de ataque de execução da obra e sistema de planos de cargas para a entrega dos materiais e solicitar planos de empresas terceiras               |
| Modelagem BIM 4D             | Projetos de fabricação, projeto arquitetônico  | Modelar o empreendimento em BIM  |
|                              | Análise de documentos: instruções de montagem, planos de atividades, linha de balanço          | Modelar estratégias de execução do empreendimento através da simulação 4D  |
|                              | Planos de execução de pilares, sistema <i>tiltup</i> , piso e drenagem fornecidos pelo cliente | Modelar e identificar possíveis interferências entre as atividades de outras empresas e da empresa X   |
| Aplicação do plano logístico | Reuniões para aprimoramento do modelo de simulação   | 2 reuniões com duração média de 1 hora com a participação de um engenheiro da obra para discutir e encontrar a melhor solução para execução do empreendimento e para organização do <i>layout</i> da obra                  |
|                              | Painéis visuais com imagens do plano logístico capturadas dos modelos BIM 4D                   | Tornar visual e fácil acesso o plano logístico no canteiro de obra   |
|                              | Observação participante  | Participação em 1 reunião de planejamento com o cliente com duração de 1h para discussão do andamento da obra, para análise das ferramentas propostas e para identificação de possíveis interferências com demais empresas |
| Coleta de dados              | Registro fotográfico   | Comparar o desempenho e a efetividade do plano logístico   |
|                              | Observação direta  | Três visitas à obra com média de duração de 6h com o foco de analisar o impacto das mudanças no plano logístico proposto e nos planos de cargas propostos para este empreendimento   |

Figura 27 - Objetivos de cada fonte de evidência.

## 4.5 FASE DE ANÁLISE E REFLEXÃO

Essa fase corresponde à última etapa da pesquisa construtiva, na qual os dados gerados pelos quatro estudos desenvolvidos foram reunidos e analisados, visando a proposição da versão final do modelo. Segundo March e Smith (1995), a implementação dos modelos propostos pela pesquisa construtiva devem ser avaliados com relação à utilidade do artefato, caracterizando seus impactos no ambiente e seus usuários. Diante disso, o artefato proposto foi avaliado considerando dois constructos: (a) utilidade propriamente dita e (b) facilidade de uso. Esses constructos foram desdobrados em subconstructos que foram conectados a múltiplas fontes de evidência para apontar as evidências que possibilitaram o modelo proposto.

Além de dados quantitativos obtidos ao longo da implementação do modelo proposto, foram considerados dados qualitativos a partir da observação participante em reuniões, discussões e conversas informais com os envolvidos no estudo. Portanto, foram considerados os dados obtidos ao longo da implementação do modelo proposto, incluindo a análise do uso de dispositivos visuais, da participação dos envolvidos na obra, entre outras evidências.

A Figura 28 apresenta os constructos e seus desdobramentos com as respectivas fontes de evidência utilizadas para a avaliação de cada subconstructo. Os mesmos são retomados no capítulo de resultados (ver seção 5.8).

| Constructos              | Subconstructos   | Descrição   | Fontes de Evidência  |
|--------------------------|--|---|--|
| <b>Utilidade</b>         | Estímulo ao processo colaborativo do planejamento logístico                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da comunicação e tomada de decisão participativa com relação ao planejamento logístico;</li> <li>• Colaboração dos engenheiros, coordenadores e clientes das obras estudadas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de documentos;</li> <li>• Observação participante;</li> <li>• Avaliação da implementação do planejamento;</li> <li>• Percepção da pesquisadora</li> </ul>   |
|                          | Redução da necessidade de planejamento de curto prazo                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejamento de longo e médio prazo através da simulação 4D diminuiu necessidade de planejamento de curto prazo por considerar a grande maioria das operações como sendo fluxo (movimentação de materiais)</li> </ul>                                      |  |
|                          | Transparência e disponibilidade de informações                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de dispositivos visuais para divulgação do planejamento logístico no canteiro de obra</li> <li>• Análise de indicadores</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante;</li> <li>• Registro do número de cenários simulados e da solicitação por novos cenários;</li> <li>• Avaliação da implementação do modelo de planejamento proposto;</li> <li>• Percepção da pesquisadora</li> </ul> |
|                          | Possibilidade de análise de planos alternativos de execução                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior número de informações para a tomada de decisão através da geração de cenários alternativos de execução na simulação 4D</li> </ul>  |  |
| <b>Facilidade de Uso</b> | Contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os participantes | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilização das ferramentas durante discussões nas reuniões de planejamento;</li> <li>• Facilidade de entender os modelos BIM 4D e obter as informações desejadas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observação participante</li> </ul>  |
|                          | Participação das pessoas no processo de modelagem BIM 4D                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocorrência de solicitações de alterações dos modelos ou detalhamento do modelo durante a elaboração do planejamento logístico;</li> <li>• Ocorrência de solicitações dos participantes para o desenvolvimento de novos modelos e novos cenários</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro do número de participantes para a tomada de decisão;</li> <li>• Observação participante</li> </ul>   |
|                          | Possibilidade de continuação do processo após o estudo                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interesse dos participantes em dar continuidade ao uso das ferramentas propostas em empreendimentos futuros</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrevista aberta com os participantes;</li> <li>• Observação direta</li> </ul>   |
|                          | Esforço envolvido na modelagem BIM 4D  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisar o tempo requerido para modelagem BIM 4D</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro do tempo despendido</li> </ul>   |

Figura 28 - Constructos, subconstructos, variáveis e fontes de evidência utilizados na avaliação do modelo.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados alcançados nesta pesquisa. Primeiramente, são apresentadas as práticas de planejamento da produção observadas na empresa X, com destaque para os processos logísticos realizados. Em seguida, os resultados dos estudos exploratórios são descritos bem como suas principais contribuições. Após, descreve-se detalhadamente as atividades desenvolvidas no estudo empírico 3 e no estudo empírico 4. Por fim, o modelo de planejamento e controle logístico de obras é apresentado.

### 5.1 PRÁTICAS DE PLANEJAMENTO EXISTENTES

#### 5.1.1 VISÃO DO PROCESSO

O processo de construção da empresa X é dividido entre diferentes unidades de produção. A Figura 29 apresenta uma visão das unidades organizacionais e subprocessos e como os mesmos interagem uns com os outros. As unidades organizacionais que compõem a empresa são: Comercial, Projeto, Fabricação, Logística e Montagem.

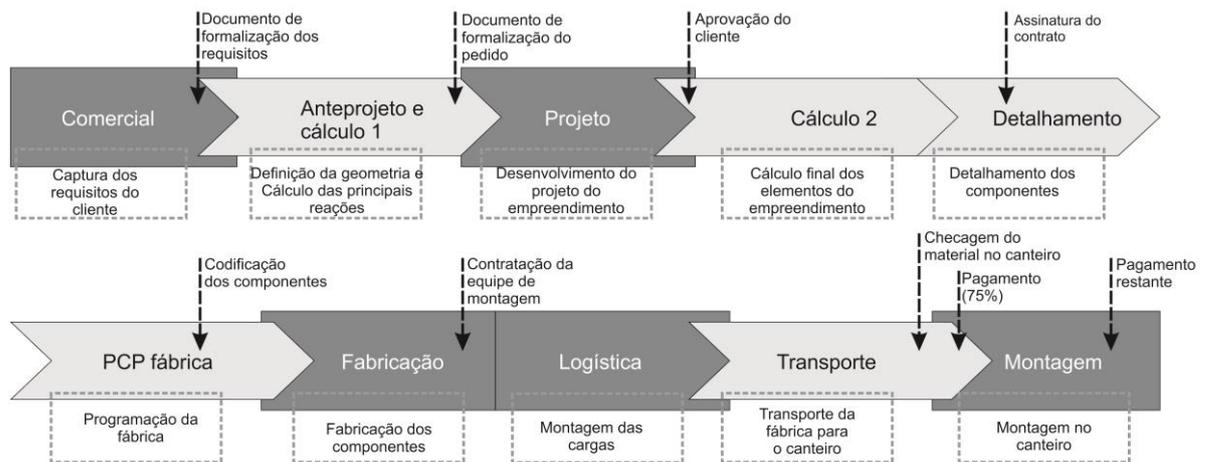


Figura 29 – Principais etapas do processo de construção.

O processo inicia no setor comercial com a captura dos clientes. Neste setor há uma definição de um plano de longo prazo para a entrega do empreendimento. O processo envolve um anteprojeto, no qual é definida uma solução técnica preliminar do empreendimento a partir dos requisitos do cliente. Após esta definição, é feito um cálculo estimado do custo da estrutura do empreendimento. Posteriormente, as reações e as cargas de estrutura nas

fundações são passadas ao cliente, o qual é responsável por fornecer a terraplanagem e as fundações para a montagem da estrutura metálica. Esta fase é finalizada com a aprovação do anteprojeto pelo cliente, o que pode durar até dez dias.

O processo segue com a definição final do projeto do empreendimento e o cálculo final da estrutura, que inclui a definição dos pesos dos componentes. Esta segunda fase de cálculo é crítica, pois o custo estimado do projeto é comparado com o custo estimado inicial realizado na fase comercial. Se o custo inicial for maior do que o segundo cálculo, significa que a empresa terá uma margem de lucro adicional. Porém, se o custo inicial for muito menor, a empresa tentará negociar o contrato.

O processo continua com a fase de detalhamento de projeto, mas antes de terminar esta fase é necessária a assinatura do contrato pelo cliente e um pagamento inicial pelo projeto. Além disso, o gerente de projeto normalmente realiza duas visitas ao canteiro de obra para uma análise de restrições. Caso exista algum problema que impossibilite a montagem da estrutura, por exemplo, atraso na terraplanagem, o processo de produção na fábrica da empresa pode ser interrompido.

O projeto detalhado é enviado ao setor de planejamento e controle da produção da fábrica em lotes. Estes lotes são definidos pelo setor de planejamento, o qual divide a obra em etapas de montagem e em subetapas. O projeto detalhado das peças é então enviado para fabricação pelo planejamento e controle da produção da fábrica. As peças com mais peso do projeto são fabricadas primeiro. Posteriormente, as peças prontas são estocadas no pátio da fábrica para o setor de logística fazer a expedição.

O setor de logística é responsável por organizar as cargas nos caminhões e enviar para obra. Quando a carga de materiais é entregue no canteiro, o cliente deve pagar 75% do valor do projeto. A última etapa é a montagem da estrutura do empreendimento.

### 5.1.2 PROCESSO DE CARREGAMENTO NA LOGÍSTICA DA FÁBRICA E IMPACTOS NA MONTAGEM

O processo tradicional de carregamento das cargas no pátio da fábrica da empresa X era realizado sem um planejamento sistemático. Este processo envolvia o setor de logística da fábrica, no qual a pessoa responsável pela definição das cargas era o operador da máquina que fazia a expedição dos materiais para o carregamento. Neste processo, o encarregado de montar a carga no caminhão usava principalmente a sua experiência e intuição para execução

da atividade. As cargas eram montadas muitas vezes com etapas da obra misturadas, a fim de não perder espaço no caminhão e otimizar o custo do frete. Havia muitas perdas neste processo, uma vez que o operador perde tempo ao escolher as peças que podem ser colocadas em cada caminhão.

A falta de um planejamento sistemático das cargas traz como principais consequências a entrega de lotes na obra com peças de etapas diferentes, fora da ordem prevista para a montagem. Esta situação dificulta a organização dos estoques no canteiro de obra. Em alguns casos, ocorre a situação de subetapas estarem completamente produzidas, porém, os caminhões não têm capacidade para entregar uma subetapa completa. Neste caso, pode-se optar por enviar somente os itens mais pesados, para que os mesmos sejam faturados, deixando os demais componentes para o frete seguinte. Dependendo da distância da obra, há diferenças de dias entre duas cargas consecutivas. Esta situação afeta o andamento de montagem, pois há a formação de um grande estoque no canteiro de obra, porém os componentes para montar uma etapa completa não estão disponíveis. Assim, o inadequado planejamento logístico resulta em diferentes perdas nas obras, tais como a perda de tempo em organizar os materiais no canteiro e a perda de tempo em identificar as peças necessárias para iniciar a sequência de montagem.

Mais recentemente, a empresa introduziu mudanças na forma de carregamento por meio da utilização de *skids*. Um *skid* é uma cama de aço, na qual são inseridas as peças em cima, acomodadas de acordo com seus tamanhos. O *skid* facilita a organização das peças no canteiro de obra bem como seu descarregamento em obra, pois é realizado com um guindaste. O procedimento de descarregamento com *skid* é mais rápido do que a retirada de peça por peça do caminhão.

Em paralelo à realização do estudo empírico 3 desta pesquisa, a empresa iniciou a implementação de melhorias na logística, relacionadas à elaboração de planos de carga. Foi designada uma pessoa da empresa para ser responsável por planejar as cargas nos caminhões ou *skids*, de forma a melhorar este processo. Os planos de carga contêm o tamanho, o peso e a disposição das peças nos *skids* ou carretas. Mais detalhes sobre estes planos de carga são apresentados na seção 5.6. O principal benefício dos planos de carga é a montagem dos *skids* com apenas peças de uma mesma subetapa para entrega em obra. O *skid* só é aberto em obra quando for necessário utilizar as peças da etapa que este contém, sendo então, uma maneira dos materiais ocuparem menos espaço e ficarem mais organizados na obra.

### 5.1.3 LOGÍSTICA NO CANTEIRO DE OBRA

Nos canteiros de obras da empresa X analisados, não existia a prática de realizar um planejamento formal de *layout* e de operações logísticas. Normalmente, as cargas de materiais chegavam à obra e seus locais de descarregamento eram definidos no momento em que estas chegavam. Esta situação acabava agravando as perdas de transporte em obra, uma vez que sem um planejamento de *layout* prévio, alguns materiais eram estocados distantes da área de montagem.

A falta de um planejamento logístico formal de algumas operações principais das obras afetava diretamente a produtividade de montagem. Um exemplo desta situação é a falta de planejamento dos equipamentos necessários para descarregamento dos materiais e de um estudo de viabilidade para os equipamentos a serem utilizados nos canteiros. Alguns canteiros de obra são estreitos e necessitam um estudo cuidadoso de seleção de equipamentos que podem ser utilizados. Além disso, o estudo dos fluxos de veículos e acessos no canteiro de obra pode contribuir para evitar conflitos de espaço.

As misturas de etapas e subetapas realizadas no setor de logística da fábrica, conforme descrito na seção anterior, agravavam os efeitos da falta de planejamento logístico do canteiro de obra. Esta situação reforça a necessidade de uma interligação entre os setores da empresa para evitar perda de produtividade na montagem. Esta interligação pode tornar o processo de montagem mais produtivo uma vez que os materiais chegam em ordem e organizados no canteiro.

## 5.2 ESTUDO EXPLORATÓRIO 1

O estudo exploratório 1 iniciou com a modelagem BIM 4D do empreendimento, denominado neste trabalho de empreendimento L. Esta modelagem envolveu um esforço de duração de aproximadamente 34 horas e foi baseada no projeto detalhado de montagem da estrutura metálica, projeto arquitetônico, projeto em 3D da estrutura principal e plano de montagem. A Figura 30 apresenta um resumo do tempo das atividades envolvidas na modelagem BIM 4D para este estudo.

| Atividade  | Duração         |
|--|-----------------|
| Compreensão do projeto + preparação de arquivos dwg (AutoCAD 2D) para a modelagem BIM                | 3h              |
| Modelagem BIM do empreendimento no <i>ArchiCAD</i>   | 8h              |
| Modelagem dos processos (estoques, circulações)  | 6h              |
| Preparação do plano de atividades e de processos para inserção no <i>Synchro</i>                     | 7h              |
| Simulação 4D no <i>Synchro</i> , inserção dos equipamentos e associação do plano aos componentes BIM | 10h             |
| <b>TOTAL</b>   | <b>34 horas</b> |

Figura 30 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 1.

Foram realizadas 8 reuniões com duração média de 1 hora com o coordenador e engenheiro da obra para a elaboração do projeto do sistema de produção (PSP) com ênfase no planejamento logístico do empreendimento. O planejamento da obra foi realizado com a utilização da ferramenta de simulação 4D, a partir da linha de balanço (LOB) da obra, ilustrada na Figura 31. Com os dados de sequência de execução das atividades e com o modelo BIM, foram geradas duas alternativas de execução do empreendimento e levados para discussão nas reuniões para elaboração do PSP na empresa X. Nestas reuniões, sempre com a presença da ferramenta de simulação, foi discutida a sequência de execução do empreendimento juntamente com o posicionamento dos estoques da estrutura principal conforme execução da obra. A simulação 4D ressaltou a necessidade de alugar um terreno para estoque de peças, tendo em vista que todas as peças da obra já haviam sido fabricadas devido ao atraso do início da obra.



Figura 31 – Linha de Balanço do empreendimento L.

A primeira alternativa de execução do empreendimento analisado na simulação 4D iniciou com a execução dos dois edifícios (edifício garagem e edifício hotel) ao mesmo tempo, ou seja, com duas frentes de montagem. Porém, a simulação indicou que essa situação não era

viável tendo em vista o espaço estreito para circulação de equipamentos para realização de manobras. Além disso, essa alternativa de execução traria muitos conflitos de espaço com relação à estocagem de materiais. Essa identificação só ficou clara a partir da utilização na ferramenta de simulação 4D.

A segunda alternativa de execução do empreendimento considerou a execução do edifício do estacionamento e, logo após, em paralelo com a execução das lajes do edifício garagem, se deu o início à execução do hotel. Esta situação aconteceu com um aumento no efetivo de montadores. Para esta segunda alternativa também foram previstos os equipamentos necessários para a execução das atividades de montagem dos pilares e das vigas metálicas, prevendo no modelo de simulação o tamanho dos equipamentos que podiam ser utilizados no içamento das peças, dadas as limitações do terreno.

A aprovação desta segunda opção foi feita pelo coordenador e engenheiro da obra em uma reunião, sendo então definidos os equipamentos, bem como as posições dos mesmos no terreno de acordo com as fases da obra. Ainda, foram definidas as localizações das instalações temporárias e o acesso principal da obra, embora estas decisões tenham sofrido mudanças ao longo da execução da obra.

Com a definição do PSP do empreendimento, foi gerado um painel (Figura 32) contendo imagens retiradas da simulação 4D conforme a passagem do tempo. As imagens foram selecionadas considerando as 3 fases de execução do edifício garagem e as 3 fases de execução do edifício hotel. Posteriormente foi inserida uma legenda para identificação das atividades do canteiro. Áreas onde deveria haver um cuidado de segurança maior, tais como fosso de elevador e duas árvores na entrada, foram marcadas em vermelho.

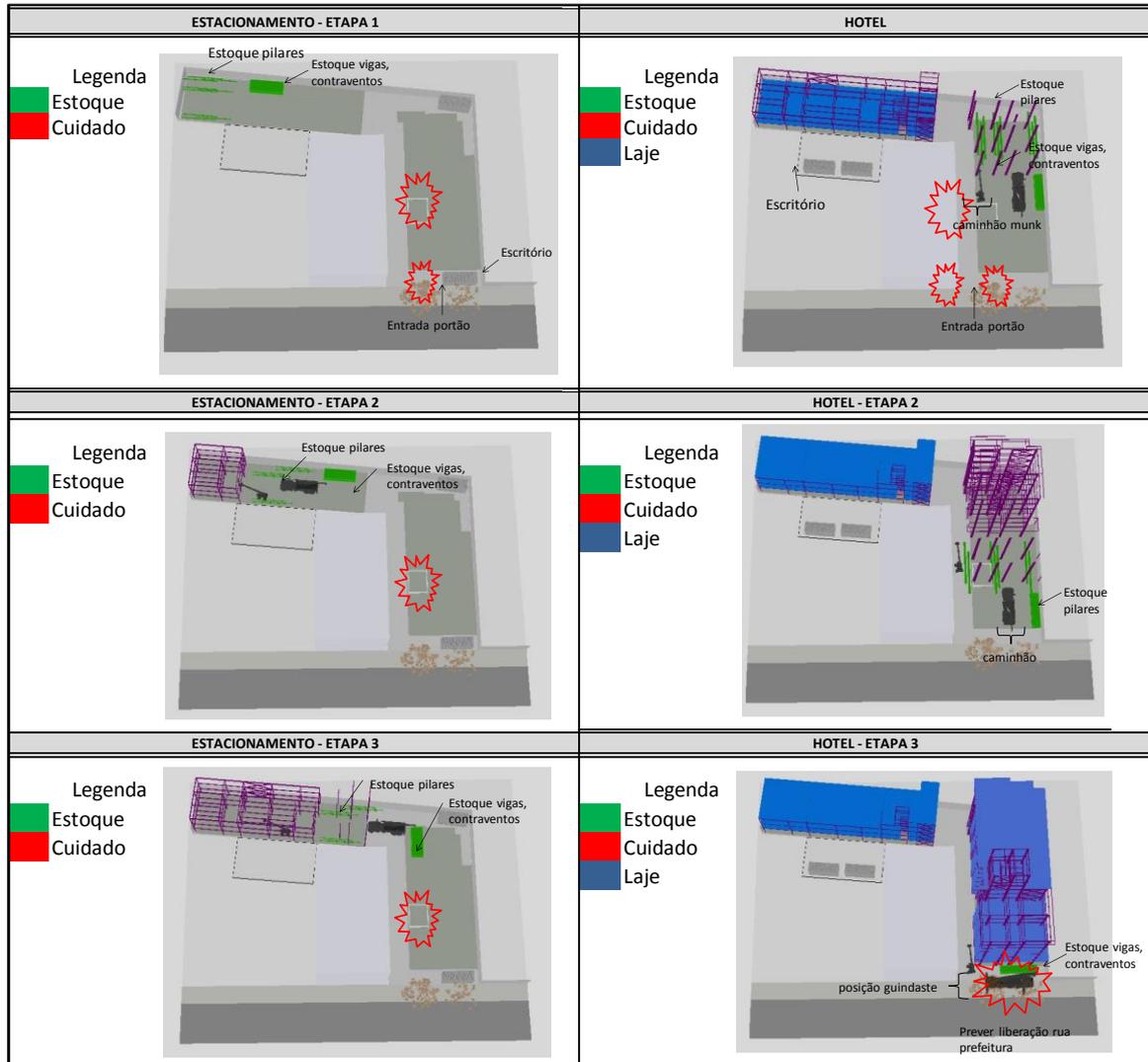


Figura 32 – Painel representando imagens da simulação 4D do empreendimento.

Este painel foi colocado no escritório da empresa X locado no canteiro de obra para ser usado principalmente pelo engenheiro e mestre de obra. Após, houve um acompanhamento semanal a respeito da aderência deste plano. Ao longo deste monitoramento, foi desenvolvido o protocolo de coleta de dados (Apêndice A), que foi posteriormente utilizado no estudo empírico 3.

O planejamento da produção do empreendimento abordou apenas os planos de longo e curto prazo. A coleta destes dados foi realizada através de 9 visitas à obra e com a participação nas reuniões de curto prazo no escritório no canteiro de obra, as quais contavam com a presença do engenheiro e mestre de obra. Uma planilha foi montada para ser utilizada na coleta destes dados apresentando na primeira coluna a data da reunião, na segunda coluna a atividade envolvida, na terceira coluna as causas identificadas nas reuniões e, por fim, na quarta coluna a causa raiz (Figura 33).

| Levantamento ações e resultados - coleta de dados Empreendimento L |  |   | Categoria da causa (afeta no planejamento do canteiro)    |
|--|--|---|---|
| Reunião  | Atividades   | Causas  |   |
| 08/12/2013   | 4D geral com ataque da obra, posicionamento de estoques, definição                       | - falta de mão de obra para conferir material no terreno alugado  | Falta de recurso  |
|  |  | - falta de material da etapa 1 do estacionamento, obrigando a mudar a sequência de ataque da obra, para a mesma não ficar parada  | Erro na entrega de materiais                              |
|  |  | - algumas peças faltando foi feito um novo pedido para a fábrica  | Erro na entrega de materiais                              |
| 18/12/2013   | Reunião de curto prazo: planejamento das atividades e planejamento da semana do canteiro | - Planejamento da montagem não seguiu totalmente pois não foi encontrado o pilar do eixo 7 para sua montagem, por isso foram montados outros pilares  | Erro na entrega de materiais                              |
|  |  | - retrabalho no alinhamento dos pilares, perda de 1 dia devido relatório topográfico errado   |   |
|  |  | - posicionamento dos estoques e equipamentos (munk e plataforma) seguiram o planejamento  |   |
| 08/01/2013   | Reunião curto prazo e Planejamento da semana do canteiro                                 | - estoque blocos de isopor não foi planejado  | Erro no planejamento do canteiro                          |
|  |  | - estoque treliforma não foi planejado  | Erro no planejamento do canteiro                          |
|  |  | - problema com laje ocasionou atraso na obra - laje com formato diferente do especificado pelo fornecedor   | Falta de troca de informação/Erro na entrega de materiais |
| 15/01/2014   | Reunião curto prazo e planejamento da semana do canteiro                                 | - estoque da laje tuper que deve ser devolvido para a empresa não foi retirado ainda, ocupando espaço na obra em local não planejado  | Falta de troca de informação                              |
|  |  | - canteiro bagunçado, peças espalhadas para todo lado no térreo do estacionamento   | Falta de recurso  |
|  |  | - o resto do planejamento seguiu conforme especificado (isopor, estrutura hotel)  |   |
| 23/01/2014   | Reunião curto prazo e planejamento da semana do canteiro                                 | - problema com shaft, não estava previsto no projeto, e laje já está montada  | Falta de troca de informação                              |
|  |  | - falta de informação entre calculistas e projetistas - gerou problema: estrutura hotel foi calculada para ter escora vertical  | Falta de troca de informação                              |
|  |  | - problema de interferência com a bomba de concretagem - faltou planejamento  | Erro no planejamento do canteiro                          |
| 28/01/2014   | Reunião de curto prazo   | - bomba concreto intupiu - gerando atraso na concretagem - junta fria - concretagem terminou em outro dia   | Falta de controle na execução do planejamento do canteiro |
|  |  | - isopor alterou de lugar devido a solda da laje  | Mudança no planejamento do canteiro                       |
|  |  | -caminhão munk saiu da obra devido a falta de espaço - trabalho só com guindaste  | Erro no planejamento do canteiro                          |
| 30/01/2014   | Planejamento do canteiro   | -Estoque de armaduras para as lajes do hotel permaneceram no caminho, atrapalhando o trânsito de pessoas, sendo pisoteado e, inclusive, molhado.  | Falta de controle na execução do planejamento do canteiro |
|  |  | -As três máquinas continuaram trabalhando no local.   | Alteração no planejamento                                 |
|  |  | -Telas foram para o local planejado. Entretanto, ocuparam muito mais espaço do que se imaginou no planejamento. Assim, a circulação ficou restrita e a maioria das pessoas circulava por cima das telas e isso pode ser perigoso.                     | Erro no planejamento do canteiro                          |
| 04/02/2014   | Reunião curto prazo e planejamento da semana do canteiro                                 | - as telas mudaram de lugar, mas continuam atrapalhando a circulação  | Falta de controle na execução do planejamento do canteiro |
|  |  | -começaram as subir para o segundo pavimento alguns perfis metálicos e alguns isopores, para desocupar o canteiro no térreo.  | Alteração no planejamento                                 |
|  |  | -os aços estavam sendo separados conforme tamanho e dimensões e eram retirados do meio do caminho, pois estava atrapalhando a circulação e entrada de máquinas  | Erro no planejamento do canteiro                          |
| 18/02/2014   | Reunião curto prazo  | -entre o almoxarifado e o estoque de parafusos agora existe um estoque de perfis metálicos  | Alteração no planejamento                                 |
|  |  | -mais isopores chegaram na obra e ocupavam literalmente todo espaço marcado em planta   |   |
|  |  | - carga de laje tuper para ser descarregada na obra veio sem especificação de etapa, não há espaço na obra para fazer a separação desta carga e medir as peças para identificar a etapa - esta carga foi levada até o terreno alugado na Assis Brasil | Erro na entrega de materiais                              |
| 18/02/2014   | Reunião curto prazo  | - guindaste ficou posicionado conforme planejamento do layout para execução etapa 3   |   |
|  |  | - para montagem etapa 3 da estrutura caminhão munk ficou fora do terreno, sem funcionamento por falta de espaço; a montagem ocorreu apenas com o guindaste e plataforma   |   |
|  |  | - via de acesso interno ao canteiro liberado para circulação de equipamentos  |   |
| 18/02/2014   | Reunião curto prazo  | - terreo do predio do estacionamento liberado para execução de drenagem   |   |
|  |  | - segundo andar do predio do hotel será desercorado para guardar material   |   |
|  |  | - desorganização de algumas áreas de estoque  | Falta de recurso  |

Figura 33 – Coleta de dados do plano logístico.

A análise destes dados indicou que o plano logístico não estava sendo seguido em função dos seguintes problemas: (a) as cargas de materiais chegaram ao terreno alugado com as etapas da obra misturadas, e (b) não havia uma equipe para fazer a separação das peças por etapa. Diante disso, as peças muitas vezes não eram encontradas e faltavam peças para montagem. Além disso, ocorreu a mistura de peças da etapa 1 do estacionamento com a etapa 1 do hotel em função delas terem a mesma numeração de eixos.

Outra mudança identificada no plano logístico foi a existência de um estoque móvel. Este estoque era o lote de materiais a ser montado ao longo de um dia, sendo posicionado em cima do guindaste veicular, que se movia no corredor lateral de acordo com a montagem da obra. Essa solução foi considerada positiva, tendo em vista que a montagem da estrutura metálica é extremamente rápida, então esse estoque móvel era rapidamente consumido quando as peças chegavam à obra.

Após esse diagnóstico, houve uma discussão com os envolvidos na obra, a fim de encontrar uma solução para o problema de falta de aderência do plano logístico. Juntamente com o engenheiro responsável, decidiu-se realizar um planejamento do canteiro da obra semanal através de um painel feito na reunião de curto prazo como mostra a Figura 34. Além disso, houve a necessidade de um dispositivo visual no canteiro de obra para permitir visualizar o que foi planejado na simulação 4D, e com isso possibilitar novas discussões a respeito deste plano logístico com o engenheiro e o mestre de obra. Neste painel foram fixadas imagens capturadas do modelo 4D contendo as informações geradas pelo planejamento logístico do canteiro e da sequência de execução do empreendimento para se ter como referência, e, logo abaixo, uma planta baixa do canteiro de obra para fazer reflexões e mudanças no plano através de anotações.



Figura 34 – Painel de planejamento semanal do canteiro de obra.

Após o planejamento logístico do canteiro, o qual era realizado juntamente com as reuniões de curto prazo do *Last Planner*, era feita uma coleta de dados para verificar se o plano logístico da semana foi seguido. No total, foram analisadas 7 semanas nas reuniões de curto prazo, com duração média de 1 hora. As causas do não cumprimento do plano logístico do canteiro eram sempre levantadas nestas reuniões em relação à semana que passou para posterior análise. Para avaliação deste plano foi utilizado o painel apresentado na Figura 345. A planta baixa no painel era analisada, marcando com círculos vermelhos o que não foi corretamente seguido do plano logístico, ou seja, a consideração dos locais de estocagem

conforme planejado, a desobstrução da passagem lateral para permitir o fluxo dos equipamentos e o isolamento das zonas de perigo visando à segurança (Figura 345).

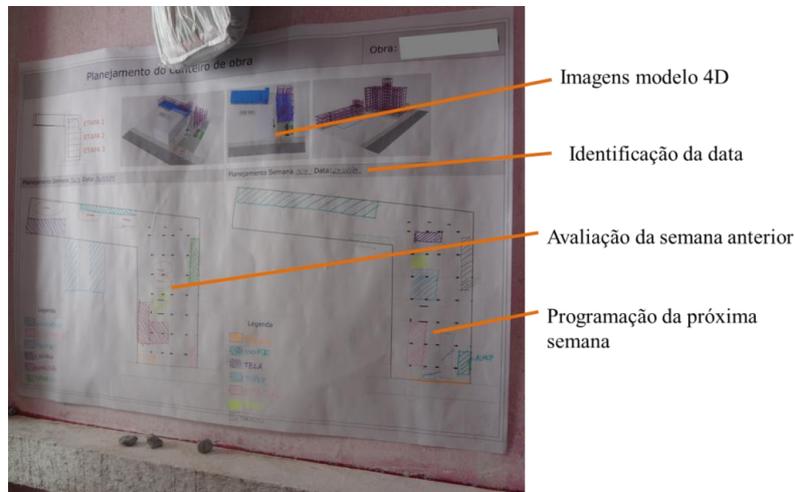


Figura 35 – Painel para planejamento e replanejamento da logística do canteiro.

Apesar das dificuldades levantadas, algumas das atividades planejadas na simulação foram seguidas na obra. As mesmas podem ser visualizadas na Figura 36, onde é possível ver a comparação entre a simulação e a execução da obra real.

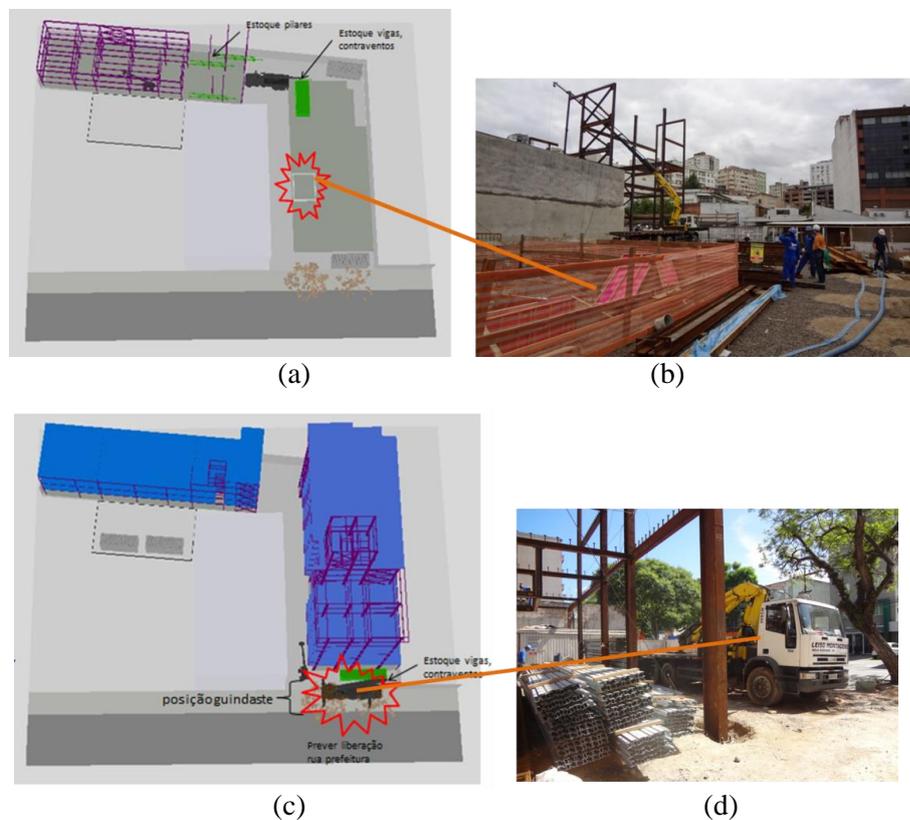


Figura 36 – Comparação entre a simulação e a obra real – (a) e (b) zona de perigo cercada; (c) e (d) posição caminhão.

A Figura 36 (a e b) compara o isolamento do foço do elevador. A Figura 36 (c e d) compara o posicionamento do guindaste veicular na última fase de execução do edifício do hotel.

Além desta análise visual do plano logístico, a coleta de dados continuou com o uso da planilha apresentada na Figura 33. A partir dos dados coletados nas visitas ao canteiro, agruparam-se as causas do não cumprimento do plano logístico em categorias para quantificar as causas mais frequentes, indicadas na Figura 37.

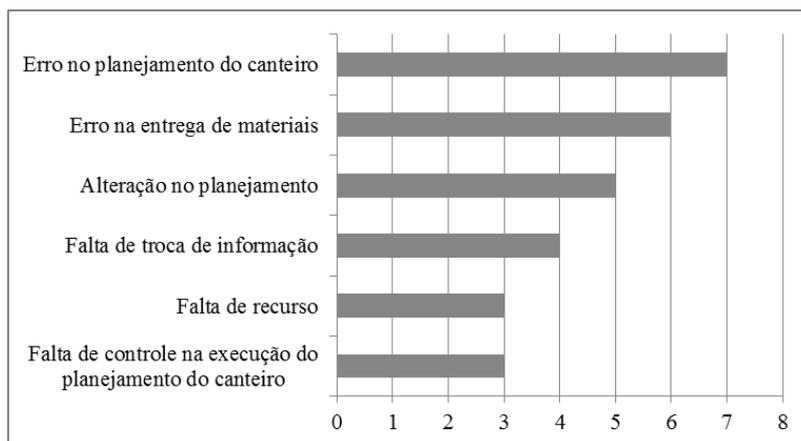


Figura 37 – Causas do não cumprimento do planejamento do canteiro.

Com relação à causa mais frequente, erro no planejamento, foi identificada que a causa raiz consistia no atraso de entrega de materiais e à falta de informação na reunião de planejamento sobre as entregas de materiais, o que acarretava em uma não definição de um espaço para um determinado material que deveria ser estocado na obra. A segunda causa mais importante da falta de aderência do planejamento do canteiro se relaciona com o erro na entrega de materiais, que ocorria devido a problemas com fornecedores.

As causas da não conclusão dos pacotes de trabalho do plano de curto prazo estão apresentadas na Figura 38. A principal causa relaciona-se ao atraso de materiais, o que acarretava na impossibilidade de execução da montagem do que havia sido planejado.

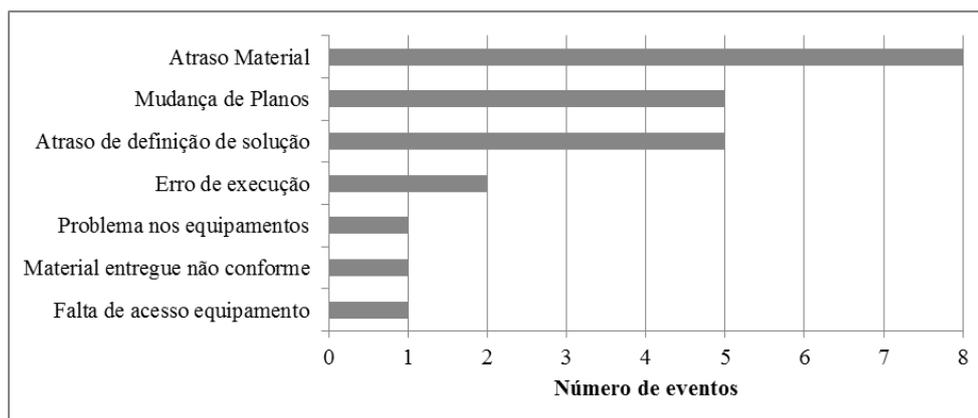


Figura 38 – Causas do não cumprimento do planejamento de curto prazo.

Como resultado desta análise, observou-se que tanto no plano da produção de curto prazo quanto no plano logístico do canteiro, a causa mais corrente do não cumprimento de ambos os planos está relacionada com material. Conclui-se que existe uma sinergia entre os dois planos, evidenciando que os dois planos (produção e logística) possuem configurações muito parecidas, ou seja, deveriam ser concebidos de forma integrada. Esta situação ocorre porque as atividades de montagem de estruturas pré-fabricadas são na sua grande maioria atividades logísticas.

Os dados referentes ao PPC das semanas acompanhadas também foram coletados (Figura 39). A falta de material resultou em um PPC muito variável, ou seja, havia semanas com um alto percentual de pacotes de trabalho concluídos (95%) e também semanas com semanas com baixo percentual (37%).

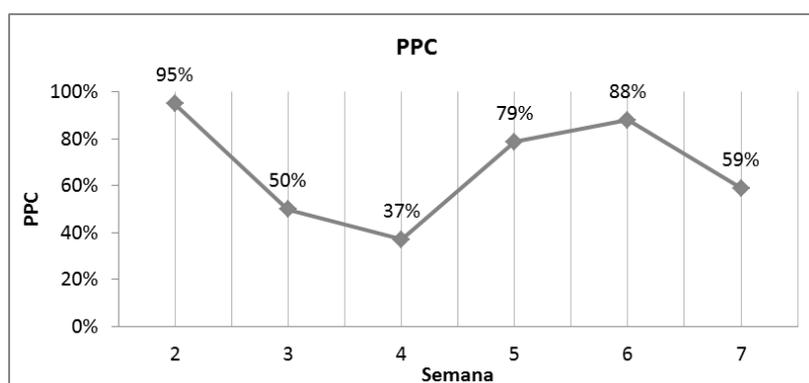


Figura 39 – Percentual de Pacotes Concluídos.

Como a obra era caracterizada por um canteiro estreito e com uma montagem muito rápida, o *layout* da obra se tornou muito dinâmico, ou seja, em constante mudança. Por ser dinâmico, o canteiro exigia certo tempo para remover restrições que no curto prazo não eram possíveis de

serem atendidas. Diante disso, percebe-se a importância de aplicar em obra o planejamento de médio prazo, prática do sistema *Last Planner* para poder identificar as restrições e removê-las, sem ter de levá-las para o curto prazo.

### 5.2.1 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO EXPLORATÓRIO 1

Como principal conclusão deste estudo exploratório, enfatizou-se que a simulação 4D teve resultado positivo na fase inicial de planejamento da obra, com discussões de ataque da obra, seleção de equipamentos e definição de áreas de estocagem. Houve uma grande discussão dos equipamentos a serem utilizados na obra tendo em vista a dificuldade que a obra enfrentava em relação à falta de espaço, com pouco pátio para operações logísticas e áreas de estoque. Portanto, este estudo foi importante para identificação prévia de conflitos de espaço na obra.

A ferramenta de simulação 4D mostrou-se eficaz na fase inicial do planejamento logístico. Porém, a ferramenta não se mostrou muito eficaz no processo de replanejamento semanal do canteiro de obra. A grande dificuldade de implementação do plano logístico através da simulação 4D neste tipo de canteiro estreito, com pouco espaço para áreas de estocagem, se deve por caracterizar um canteiro muito dinâmico, necessitando ser revisado constantemente. O resultado da implementação da simulação 4D na obra foi positivo considerando as áreas maiores de estocagem, ou seja, das estruturas metálicas (pilares, vigas). No entanto, no planejamento mais fino, ou seja, de peças menores, como caixas, parafusos e arremates, a utilização da simulação 4D não se mostrou eficaz pois eram atividades de difícil controle em obra e dependia de fornecimento de terceiros.

A principal lição deste estudo, foi que o planejamento em 4D é válido para definições relacionadas ao planejamento de médio prazo. A conclusão foi a de que o plano logístico a médio prazo demandaria menos esforço para a realização do planejamento da produção a curto prazo. Considerando as restrições de espaços, movimentação de materiais e estoques das peças a médio prazo, o curto prazo não seria uma atividade tão exigida em função da montagem de estrutura metálica pré-fabricada ser constituída na sua grande maioria de atividades logísticas.

Além disso, a simulação não se tornou uma ferramenta fácil para implantação do planejamento no canteiro, para dialogar e discutir o seu replanejamento semanal. Houve a necessidade de criar um painel, para que os encarregados da obra pudessem apresentar suas ideias de replanejamento. Diante disso, o painel com as imagens do planejamento 4D como

referência, se tornou uma ferramenta mais fácil para implantação do planejamento do canteiro de obra. Tanto o engenheiro quanto o mestre puderam participar do planejamento com mais facilidade, tendo em vista que eles não sabiam operar o *software* de simulação 4D. Durante a fase de execução da obra, sentiu-se a necessidade de inserir mais dispositivos visuais para visualizar o que foi planejado na simulação, e possibilitar um entendimento por todos os envolvidos na obra.

Como resultado final, verificou-se que o problema de misturar as peças entre as etapas da obra acabava comprometendo a organização do canteiro, a própria identificação das peças e, conseqüentemente, reduzia a produtividade pelo tempo perdido na identificação de peças. Este problema gerava perdas econômicas também, pois muitas vezes quando uma peça não era encontrada, era feito um novo pedido de fabricação para a empresa. Tendo em vista essa situação, uma das lições aprendidas foi estudar uma forma de identificação das peças desde seu ponto de origem, ou seja, na fábrica da empresa.

### 5.3 ESTUDO EXPLORATÓRIO 2

O estudo exploratório 2 iniciou com a coleta de dados sobre o empreendimento M. As principais fontes de evidência no início do estudo eram os projetos arquitetônico e de montagem e o plano de atividades. O empreendimento M representou o maior contrato da empresa X até o ano de 2014, com cerca de 200 mil metros quadrados de área construída. Como o empreendimento abrigava nove prédios do tipo pavilhão industrial, foi acordado com a empresa X em realizar um estudo inicial com os três primeiros prédios a serem executados.

A partir dos dados coletados, foi modelado em BIM 4D o processo de execução dos três pavilhões. O processo de modelagem BIM 4D deste empreendimento envolveu cerca de 64 horas. Neste modelo foram inseridos como escopo de montagem da empresa X a pré-montagem de vigas, o içamento das vigas, a montagem do telhado e o fechamento lateral. Além disso, foram modelados os pilares pré-moldados de concreto, o piso, os estoques e as visais de circulação interna. A Figura 40 apresenta um resumo do tempo das atividades envolvidas na modelagem BIM 4D para este estudo.

| Atividade  | Duração         |
|--|-----------------|
| Compreensão do projeto + preparação de arquivos dwg (AutoCAD 2D) para a modelagem BIM        | 4h              |
| Modelagem BIM do empreendimento no ArchiCAD  | 20h             |
| Modelagem dos processos (estoques, circulações)  | 15h             |
| Preparação do plano de atividades e de processos para inserção no Synchro                    | 10h             |
| Simulação 4D no Synchro, inserção dos equipamentos e associação do plano aos componentes BIM | 15h             |
| <b>TOTAL</b>   | <b>64 horas</b> |

Figura 40 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 2.

A realização do plano logístico ocorreu em uma reunião na empresa X com a participação do engenheiro e coordenador da obra com duração média de 2 horas. O planejamento logístico iniciou com a definição de uma área de estoque para o armazenamento dos materiais. As áreas de estocagem foram localizadas próximas da área de montagem de cada um dos pavilhões de modo a reduzir o transporte de componentes e evitar o espalhamento dos materiais pela obra. Estas áreas foram cobertas com pedra britada pelo cliente, cabendo à empresa X o isolamento delas assim que os materiais chegassem em obra.

Para realização da simulação, o modelo BIM foi elaborado no *software Synchro*, com a utilização da linha de balanço. A Figura 41 mostra somente o plano para os três primeiros prédios, que foram executados ao mesmo tempo, indicando a sobreposição de atividades.

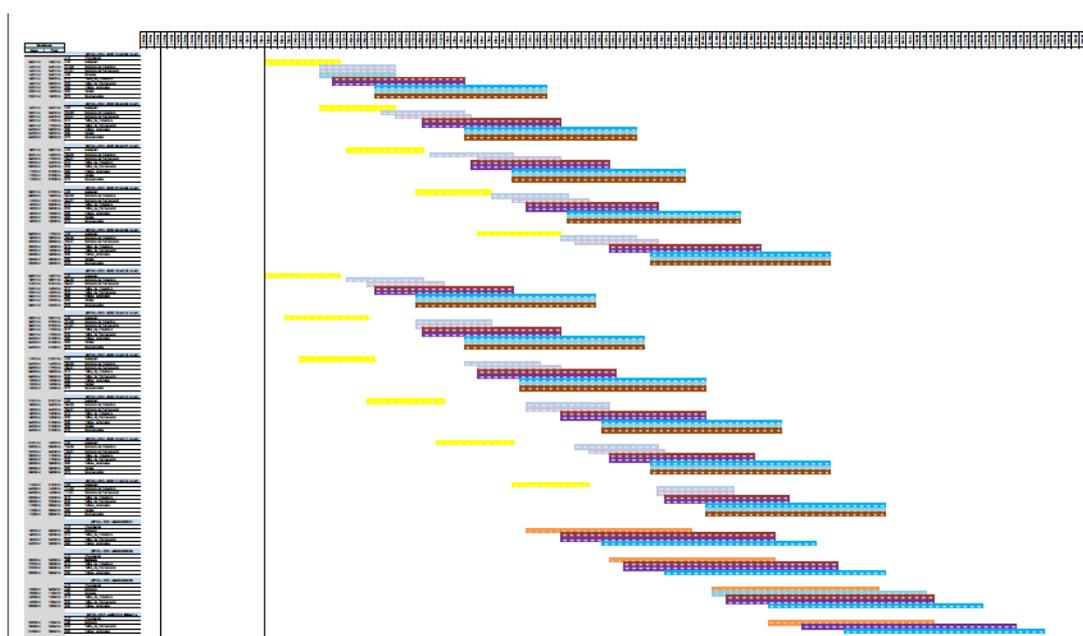


Figura 41 – Linha de Balanço do empreendimento M.

Além do planejamento logístico do canteiro na ferramenta 4D, foram identificados alguns conflitos de execução das atividades da empresa X com atividades de outra empresa construtora. A Figura 42 ilustra estes conflitos identificados. O primeiro deles consistiu na execução de vigas de cobertura pela empresa X antes dos pilares do concreto estarem finalizados por outra empresa. A partir da identificação de conflitos de planos de produção, foi gerado um relatório por meio da montagem de imagens capturadas da tela do *software* de simulação 4D. As imagens foram disponibilizadas em um painel para apoiar uma discussão do replanejamento das situações identificadas.

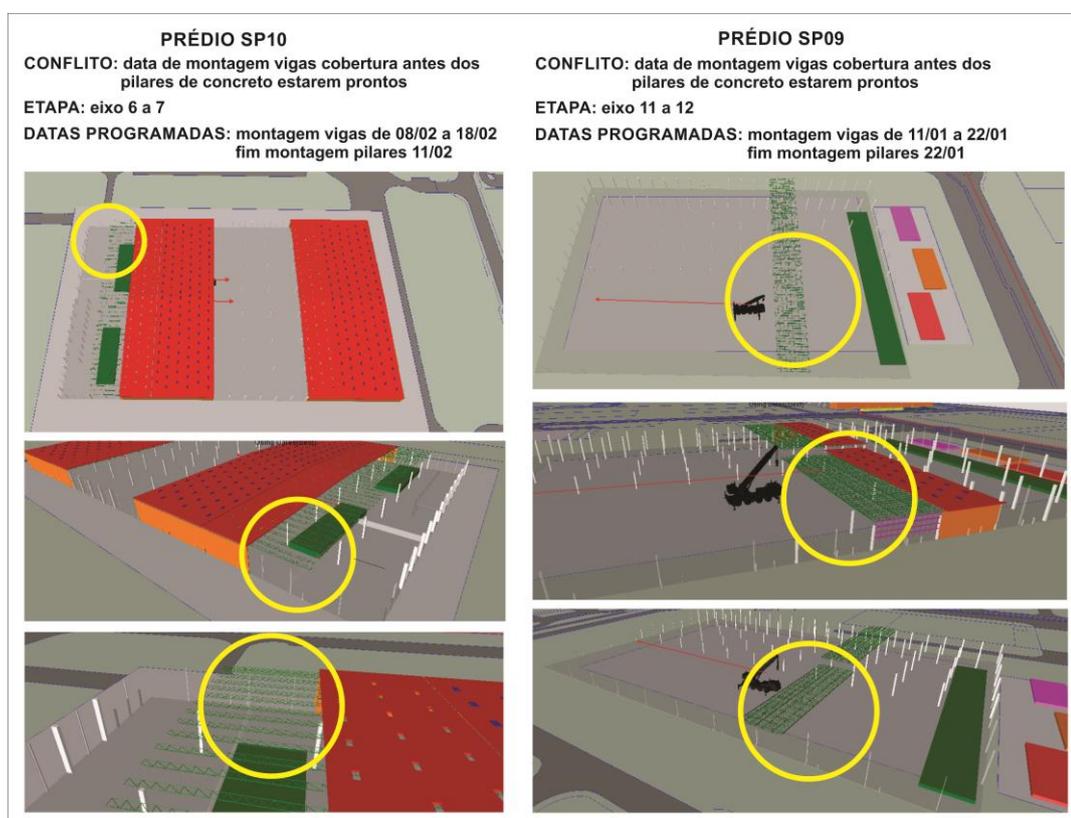


Figura 42 – Identificação de conflitos no empreendimento M.

O plano de produção foi refinado junto com o engenheiro da obra em uma reunião no escritório do canteiro de obra com duração de 1 hora. O plano de execução dos pilares também foi discutido com a empresa responsável com a presença do engenheiro da obra em uma reunião no canteiro de obra com duração média de 1 hora. Após este refinamento, foi gerado um painel visual a partir de imagens da simulação para implementação em obra conforme ilustrado na Figura 43. As atividades foram separadas por cores e os estoques foram separados por produtos. Uma imagem principal de cada prédio foi inserida no painel com a identificação da área de estocagem. Ao lado destas imagens, foram inseridas quatro imagens

de cada prédio sendo executados conforme a passagem do tempo na simulação. Essa ferramenta teve o intuito de verificar visualmente o plano da obra em execução e comparar se o plano logístico e a sequência da produção estavam sendo seguidos.

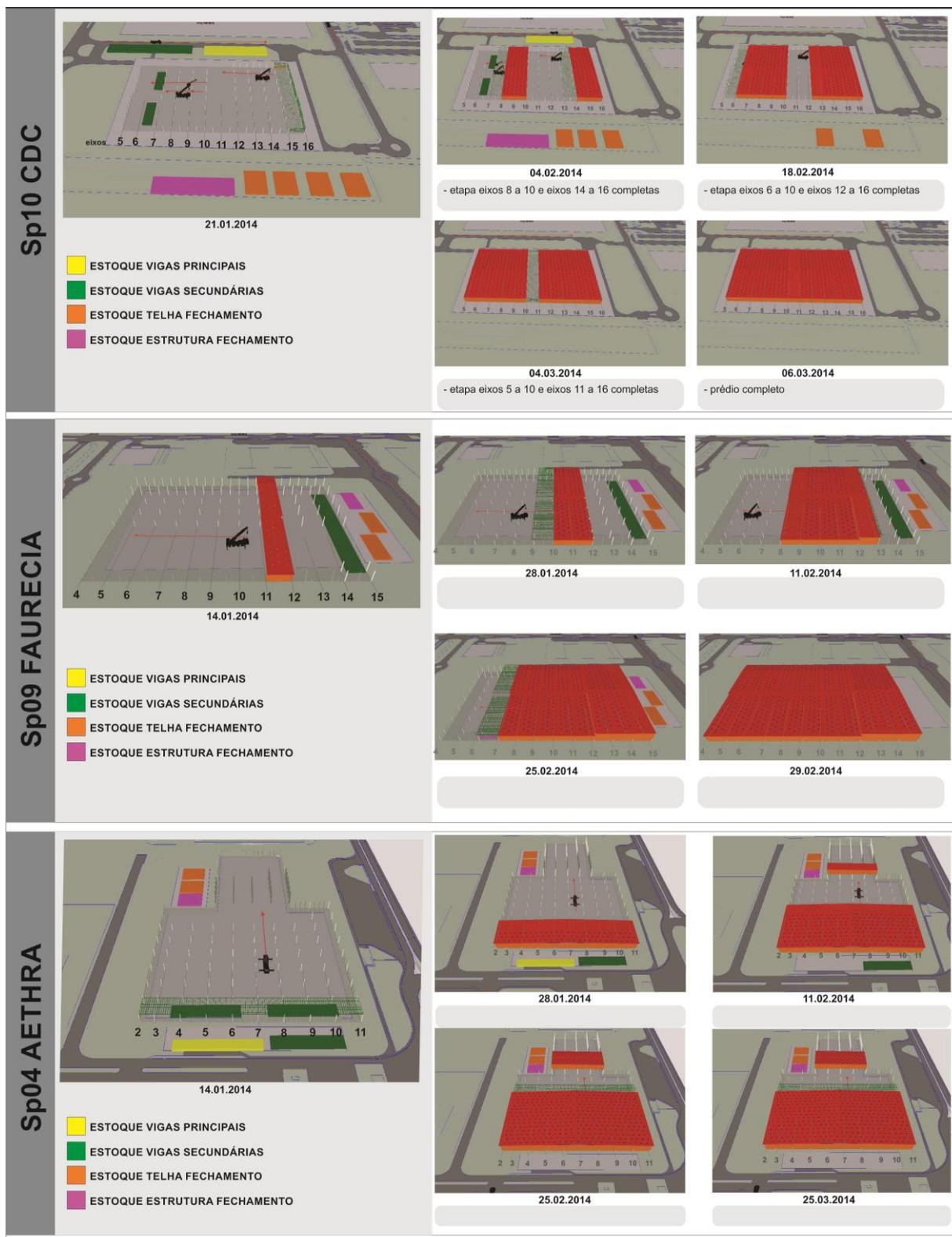


Figura 43 – Painel visual dos três primeiros prédios do empreendimento M.

Outra atividade realizada para este estudo foi a confecção de etiquetas com cores para identificação dos componentes com o intuito de evitar a mistura de peças entre os 9 pavilhões. No acompanhamento da obra foi verificada que a solução de identificação das peças foi muito positiva, pois, ao chegar uma carga em obra, esta era facilmente identificada pela cor. Como o canteiro de obras era extenso e havia nove prédios diferentes para a montagem pela empresa X, ao ser identificada pela cor, a carga era destinada para o seu devido local de estocagem. A Figura 44 ilustra os materiais identificados em obra com uma etiqueta na cor azul. Além disso, os pavilhões seguiram uma sequência de numeração de eixos, ou seja, o pavilhão 1 consistia do eixo 1 ao 33, o pavilhão 2 consistia do eixo 34 ao 66 e assim por diante. Esta medida foi adotada para evitar a mistura de peças entre os pavilhões.



Figura 44 – Identificação das peças dos diferentes prédios por etiquetas coloridas.

Conforme descrito na seção 4.4.4, a coleta de dados deste empreendimento se restringiu a observações de 3 visitas à obra devido ao interrompimento do estudo. Estas visitas tiveram duração de 4 horas e se resumiram em análises qualitativas do canteiro através da verificação se os estoques e as vias de acesso estavam sendo utilizadas conforme o plano logístico e, avaliar a utilidade das etiquetas com cores para identificação dos materiais através de uma percepção da pesquisadora nestes 3 dias de visita à obra.

### 5.3.1 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO EXPLORATÓRIO 2

Uma das principais conclusões do estudo exploratório 2 foi a importância de analisar na simulação 4D não só as atividades da empresa X mas também as atividades a serem executadas por outras empresas com as quais as atividade de montagem possui interdependências. Através da identificação prévia destes conflitos foi possível tomar providências para não parar o processo de montagem e poder corrigir o plano de execução das atividades em conflito com antecedência.

A identificação dos componentes de montagem por cores de cada pavilhão foi considerada uma medida eficaz. A preocupação com a identificação das peças de forma visual desde o setor de logística da empresa trouxe benefícios para o canteiro de obra. Esta medida aproximou os setores de logística e montagem, uma vez que ambos trabalharam juntos nesta alternativa para simplificar o processo de identificação das peças no canteiro de obra.

Além disso, ficou evidente neste estudo a importância do interesse por parte dos envolvidos na obra e a complexidade envolvida. O tamanho do empreendimento foi uma característica que afetou o planejamento do empreendimento. Apesar do acompanhamento da obra ter se restringido a uma semana, foi possível identificar que o tamanho de 200 mil metros quadrados de obra, tornou complexo o gerenciamento das atividades e o controle do canteiro.

#### 5.4 DIRETRIZES

Tendo em vista as lições aprendidas e as conclusões levantadas nos dois estudos exploratórios desenvolvidos, foram elaboradas diretrizes para o planejamento logístico do canteiro de obra. Estas diretrizes procuram contemplar as atividades consideradas como mais importantes neste tipo de planejamento.

O planejamento logístico está fortemente relacionado a variáveis de espaço e o tempo (ALVES, 2000). Estas influenciam o planejamento desenvolvido na ferramenta 4D, pois as definições de necessidade de espaço, tanto para as atividades que agregam como as que não agregam valor, mudam ao longo do tempo. Além disso, o espaço e o tempo influenciam na análise de sequência de execução das atividades planejadas e na análise de conflitos entre as estas.

Considerando o tempo e o espaço, as diretrizes consideradas importantes para o planejamento e controle logístico foram:

- Analisar a sequência de execução do empreendimento no modelo de simulação 4D através da utilização de um plano de atividades conectadas ao modelo BIM, como na pesquisa de Li *et al.* (2009). Esta análise de execução pode auxiliar na tomada de decisão quanto a escolha da estratégia de execução do empreendimento (SCHRAMM, 2009), a qual influencia as definições do planejamento de *layout* do canteiro.

- Analisar os possíveis conflitos de espaço existentes no canteiro de obra com antecedência, como proposto por Akinci, Fischer e Zabelle (1998). Esta análise permite identificar os conflitos de execução entre atividades da mesma empresa analisada, ou de outras empresas que trabalham simultaneamente no canteiro de obra. Esta análise implica a consideração dos planos de execução dessas empresas no mesmo modelo de simulação 4D. A identificação de conflitos não deve incidir apenas na execução das atividades das empresas, mas também nos processos envolvidos para execução destas atividades, tais como espaço para circulação de equipamentos e pessoas, posicionamento dos estoques e instalações.
- Analisar os acessos de veículos no canteiro e considerar as mudanças ao longo do tempo, visando à sua melhor localização com relação ao descarregamento dos materiais pelos caminhões.
- Analisar os fluxos de veículos e de pedestres no canteiro de obra para prevenir o cruzamento dos mesmos. Esta análise implica na consideração da segurança das pessoas no canteiro de obra (OLEARCZYK *et al.*, 2014).
- Analisar as áreas de estoque no canteiro de obra visando a localizá-las o mais próximo possível da área de montagem para reduzir as operações de transporte. Identificar na simulação 4D os estoques conforme o andamento da obra de modo a permitir o acompanhamento do consumo dos mesmos ao longo do tempo.
- Analisar a posição das instalações provisórias no canteiro, buscando localizá-las em áreas que não necessitem de reposicionamento ao longo do andamento da obra (ANDAYESH; SADEGHPOUR, 2014).
- Analisar os equipamentos a serem utilizados no canteiro de modo a estudar a viabilidade dos mesmos no canteiro, considerando o tamanho e manobras necessárias dentro do canteiro de obra.

### 5.5 ESTUDO EMPÍRICO 3

O empreendimento N consiste em um pavilhão industrial de uma nova fábrica de motores de uma empresa do setor automotivo. Por ser um cliente muito exigente quanto a prazos, segurança e organização do canteiro de obra, a empresa X decidiu dar grande ênfase a melhorias de logística, buscando também melhorar o desempenho no processo de montagem.

A Figura 45 ilustra o método tradicional diagnosticado na empresa, o qual consiste no carregamento de materiais sem um planejamento prévio e um descarregamento dos materiais no canteiro de obra sem um plano de *layout* do canteiro. O resultado é a formação de vários pontos de estoque no canteiro e a dificuldade de localização dos componentes para a montagem. Em contraponto a esta situação, a figura mostra a situação proposta neste estudo englobando o planejamento das cargas na fábrica e o planejamento do *layout* na obra contribuindo para a montagem.

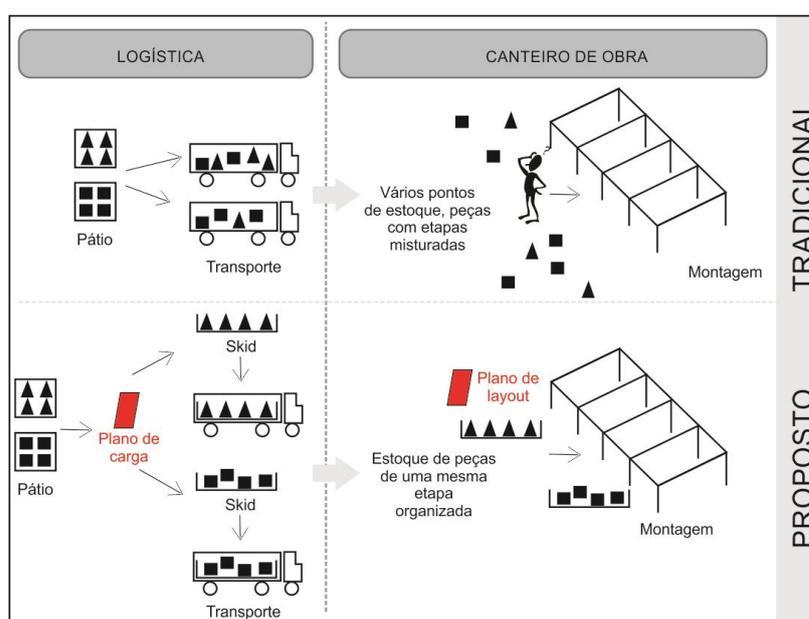


Figura 45 - Comparação processo tradicional com processo desenvolvido neste estudo.

O forte envolvimento do cliente nesta obra resultou na alteração do projeto do empreendimento. Normalmente, a empresa X busca a minimização do peso de aço nas estruturas para reduzir o custo de matéria prima e, por esta razão, tradicionalmente as obras possuem uma grande variedade nas dimensões das peças. Esta variedade de peças ocorre tanto na estrutura primária (vigas, pórticos), quanto na estrutura secundária (treliças espaciais). Devido à solicitação do cliente, o projeto do produto foi modificado, sendo diminuído para menos da metade o número de diferentes treliças espaciais (de 50 tipos para 17 tipos). Essa ação resultou em um aumento do peso total do projeto, porém facilitou a montagem da obra pela diminuição da variedade de componentes a serem montados.

O empreendimento foi dividido em nove etapas de execução, diminuindo assim, o tamanho do lote. A partir da definição destas etapas, a empresa passou a liberá-las entre as unidades de produção da empresa conforme a sequência de montagem. O setor de projetos foi o primeiro envolvido, passando a liberar as etapas de projeto completas para a fábrica.

Após as definições de projeto do empreendimento, o estudo iniciou com uma reunião de duração aproximada de 1 hora com o cliente, o coordenador de projeto e o coordenador de obra. Nesta reunião foram discutidos os requisitos do cliente quanto à forma de carregamento dos materiais e os requisitos do cliente quanto à logística do canteiro. Com isso, foi definida a estratégia de montagem das cargas por meio de *skids*, e os requisitos básicos da logística do canteiro consistiram em primar pela segurança dos montadores e demais envolvidos na obra através da separação das vias de pedestres e de equipamentos.

Para a preparação do desenvolvimento do plano logístico, ocorreu uma primeira visita ao canteiro de obra que estava na fase de terraplanagem, com duração de 2 horas e participação da pesquisadora, dos engenheiros de obra, do coordenador de obra e do cliente. Esta visita teve como objetivo a identificação das principais características do terreno e suas implicações no planejamento logístico do canteiro.

Na fábrica da empresa X, a montagem dos *skids* foi realizada através de um plano de cargas realizado em conjunto com outra pesquisadora<sup>9</sup> do NORIE-UFRGS e com representantes do setor de logística da empresa. Este plano definia a distribuição das peças para a montagem das cargas em função do peso e tamanho. A principal premissa adotada no desenvolvimento dos planos de cargas foi a de que cada carga deveria conter apenas peças de uma mesma etapa da obra. Além disso, a distribuição das peças nos *skids* seguiu a premissa de posicionar as peças considerando a sequência de montagem e as operações de descarregamento na obra. Para facilitar operações logísticas, foram confeccionadas etiquetas com cores para identificar cada uma das nove etapas, de forma de cada etapa foi representada por uma cor diferente. As peças fabricadas eram etiquetadas e identificadas para a montagem das cargas no setor de logística. A Figura 46 (a) apresenta *skids* preparados para expedição e a Figura 46 (b) as etiquetas coloridas para identificação da etapa.

---

<sup>9</sup> Daniela Dietz Viana



Figura 46 – (a) Carregamento em *skid* e (b) etiquetas coloridas para identificação da etapa.

Os planos de carga foram feitos apenas para a etapa de estrutura principal da obra, para avaliar os resultados e posteriormente discutir os benefícios. Como as cargas chegavam à obra apenas com componentes de uma mesma etapa de montagem, estas eram direcionadas para estocagem e descarregamento próximos da área de montagem no seu local planejado. Em consequência, o plano de carga evitou que peças de diferentes etapas fossem misturadas em uma mesma carga e que ocasionasse mais perdas em obra, tais como desorganização do canteiro, perda de tempo no descarregamento, perda de tempo em identificar as peças no canteiro. Além disso, o tempo em procurar as peças no pátio da fábrica reduziu, pois as pessoas encarregadas de fazer o carregamento já identificavam facilmente as peças a serem incluídas em uma determinada carga. Os resultados desta medida foram positivos e mostrou a necessidade de fazer esse planejamento para os demais componentes do empreendimento.

Definida a estratégia de utilização de *skids* para montagem das cargas desta obra, foi elaborado o plano logístico contendo uma parte do projeto do sistema de produção (PSP) do empreendimento, o qual consistiu em definir a estratégia de execução do empreendimento, o estudo dos fluxos de trabalho e a definição de processos críticos. Para este planejamento, foi utilizada como apoio a ferramenta da linha de balanço (LOB). Cada atividade da linha de balanço ocupou um espaço de trabalho na obra e uma área de estoque de materiais. A Figura 47 mostra a LOB utilizada.

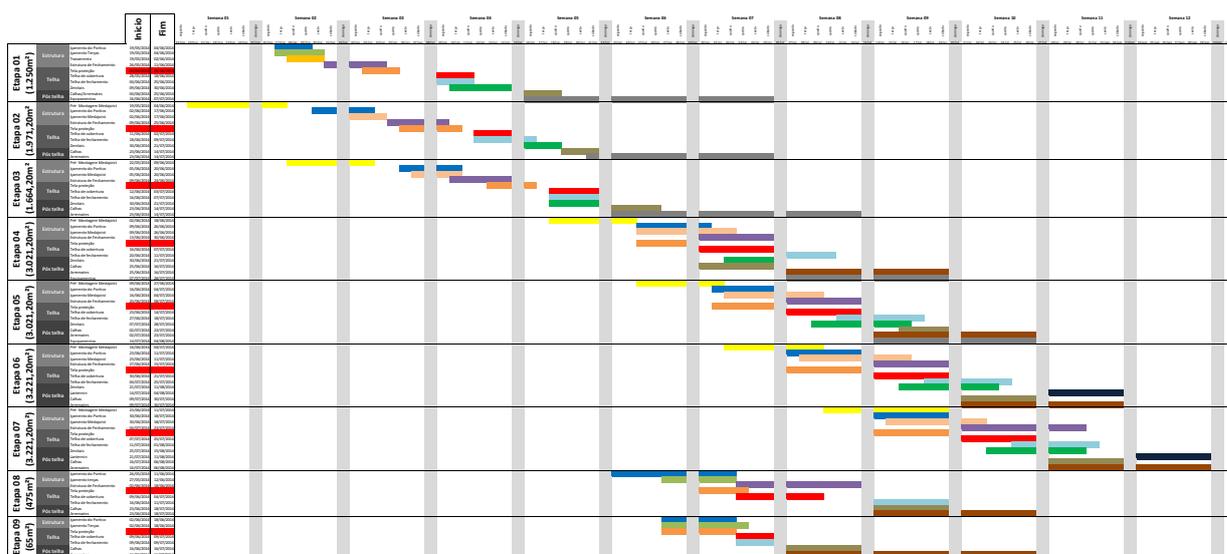


Figura 47 – Linha de Balanço do empreendimento N.

Para o planejamento logístico do canteiro, foi feita a modelagem BIM 4D do empreendimento, o qual levou aproximadamente 26 horas de modelagem (Figura 48). A modelagem também foi dividida em nove etapas, as quais foram identificadas com as mesmas cores das etiquetas confeccionadas, conforme divisão feita no projeto e representado na LOB. A Figura 48 apresenta um resumo do tempo das atividades envolvidas na modelagem BIM 4D para este estudo.

| Atividade  | Duração         |
|--|-----------------|
| Compreensão do projeto + preparação de arquivos dwg (AutoCAD 2D) para a modelagem BIM        | 4h              |
| Modelagem BIM do empreendimento no ArchiCAD  | 6h              |
| Modelagem dos processos (estoques, circulações)  | 4h              |
| Preparação do plano de atividades e de processos para inserção no Synchro                    | 4h              |
| Simulação 4D no Synchro, inserção dos equipamentos e associação do plano aos componentes BIM | 8h              |
| <b>TOTAL</b>   | <b>26 horas</b> |

Figura 48 - Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 3.

O macro *layout* do canteiro foi planejado e modelado no *software Synchro* de simulação 4D, no qual se estudou a implementação do plano logístico da obra. As definições do escopo do PSP definido neste trabalho e do plano logístico do canteiro de obra foram tomadas a partir da realização de 4 reuniões de duração média de 1 hora com os coordenadores, engenheiros responsáveis pela obra e com o cliente através da utilização da ferramenta de simulação 4D. A

montagem do plano logístico, portanto, foi interativa tendo em vista a participação de diversos envolvidos (pesquisadora, coordenadores, engenheiros, cliente).

A modelagem contemplou a representação do descarregamento do volume dos *skids* no canteiro de obra de cada etapa através da previsão de um espaço para estocagem na simulação 4D. Além da modelagem da área de estocagem, também houve a representação da área de pré-montagem das treliças espaciais em solo, sendo estas separadas em baias por etapas para evitar a mistura de materiais e buscar uma organização para o canteiro. Os estoques foram posicionados o mais próximo possível das áreas de montagem buscando reduzir perdas por transporte de componentes e facilitar a organização dos materiais e aumentar a produtividade (Figura 49). O modelo do plano logístico também contemplou as vias de acesso de veículos e as vias de pedestres cercadas, visando à segurança de todos que circulavam no canteiro.

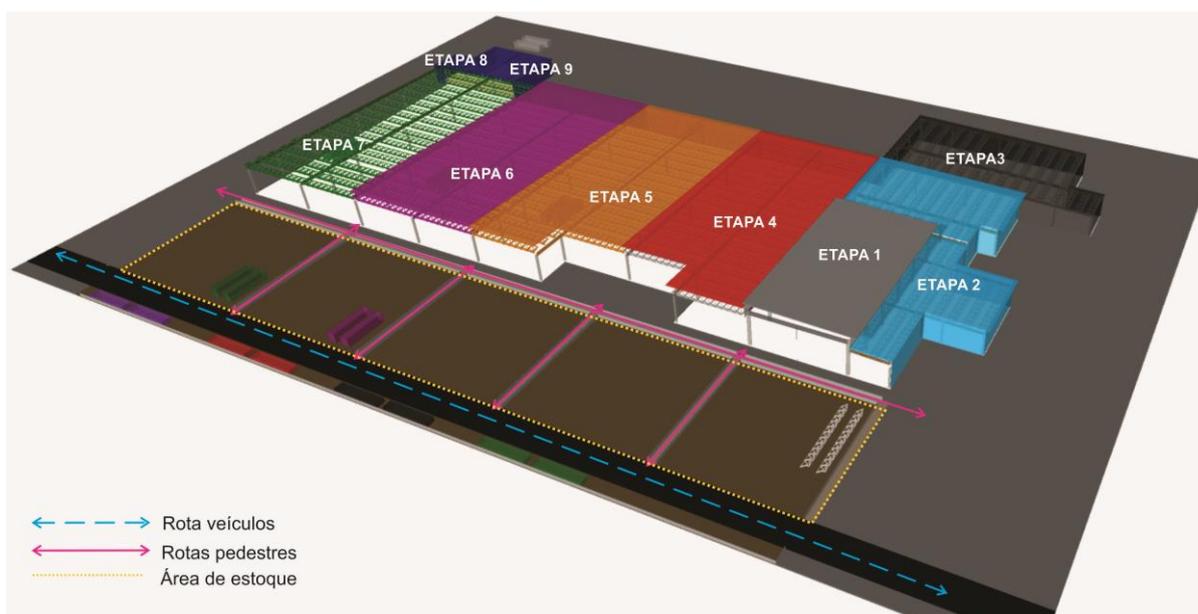


Figura 49 – Ilustração do modelo BIM do *layout* do empreendimento N.

### 5.5.1 FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO PARA O CANTEIRO DE OBRA COM BASE NA SIMULAÇÃO 4D

A partir da definição do plano logístico do canteiro, painéis foram implementados no canteiro de obra para conhecimento por parte dos engenheiros, montadores e do cliente. A partir da simulação 4D, foi montado um primeiro painel com imagens capturadas da tela do modelo. Tendo em vista a duração total do empreendimento de 12 semanas, foi selecionada 1 imagem de cada semana de execução do empreendimento. Este painel teve o intuito de facilitar o acesso à informação e o diálogo em obra, se tornando uma ferramenta de gestão visual. O

mesmo foi empregado tanto no escritório da empresa em obra, quanto no escritório do cliente. A Figura 50 ilustra este painel. Através deste dispositivo visual, foi possível acompanhar a evolução do canteiro de obra à medida que a obra avançava, por meio da disponibilização de informações sobre o plano logístico do canteiro de uma forma clara.

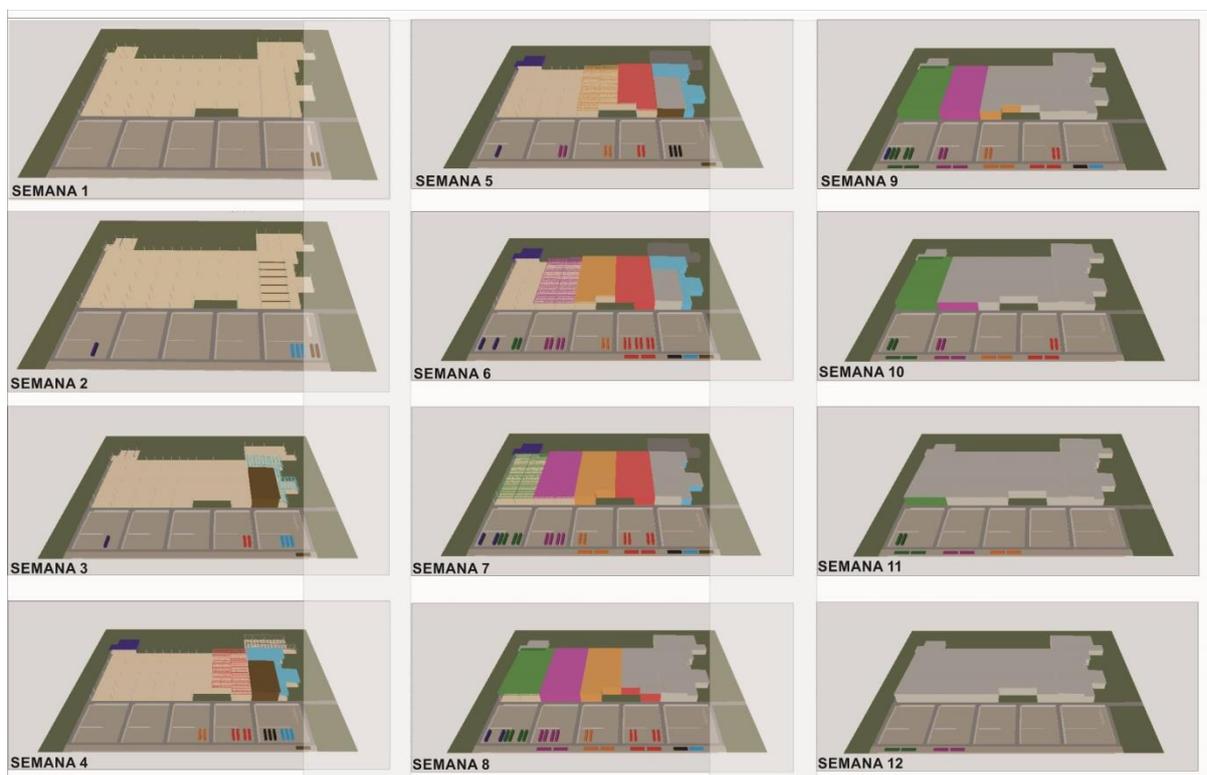


Figura 50 – Painel do plano logístico do canteiro de obra com imagens da simulação 4D.

Outro painel foi elaborado contendo informações importantes sobre o plano do macro *layout* do empreendimento. Essas informações foram importadas para um *software* de edição de imagens e foram inseridas as indicações de fluxos, tanto de pedestre quanto de veículos, indicação do acesso à obra e das áreas de estocagem separadas por etapas. Com este plano, o direcionamento dos caminhões para realizar os descarregamentos foi facilitado, pois já havia um local planejado para o descarregamento de cada lote. A Figura 51 ilustra o painel do macro *layout* do empreendimento.

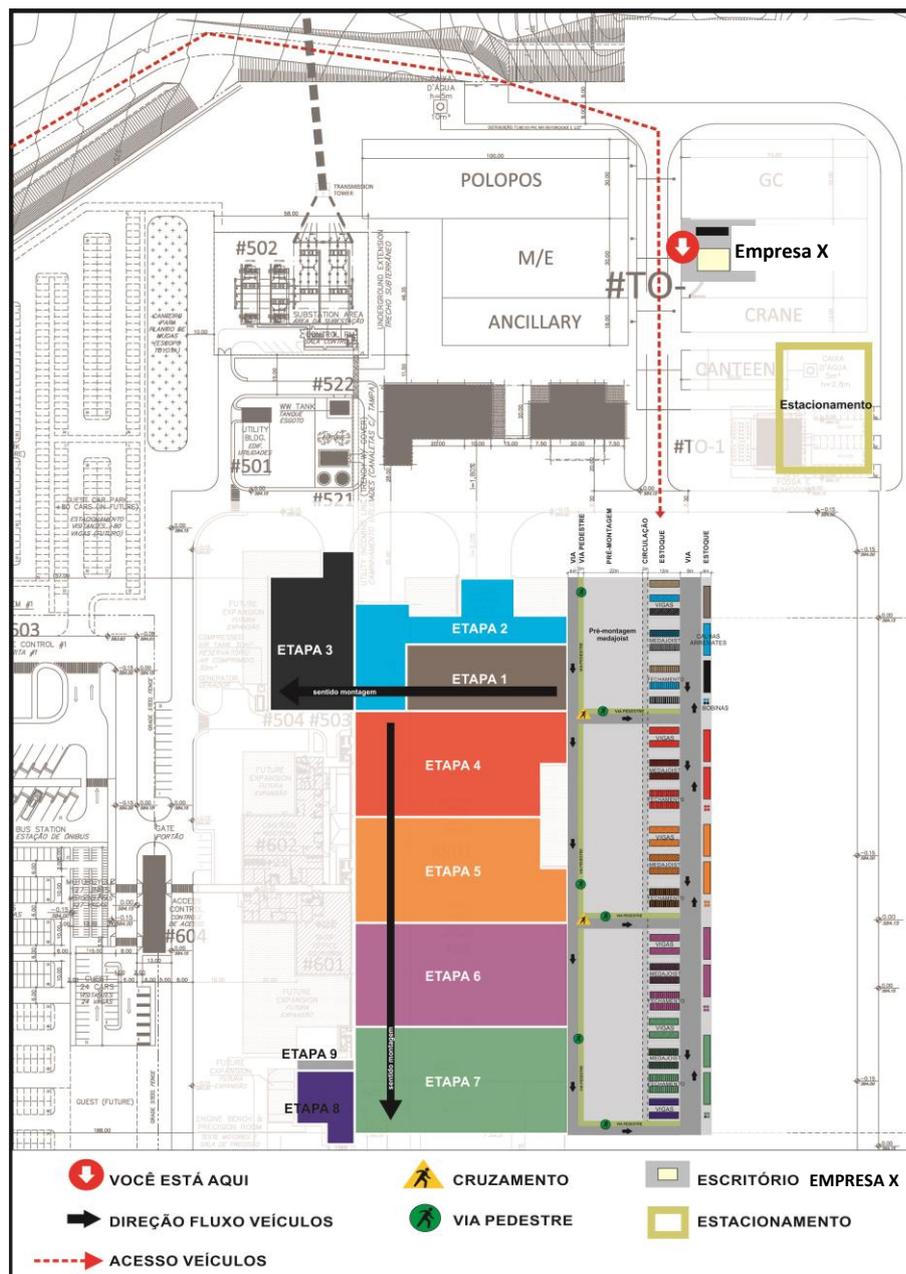


Figura 51 – Painel do macro *layout* do empreendimento.

Este painel de macro *layout* do empreendimento também foi disponibilizado no escritório da empresa X locado em obra ilustrado na Figura 52. Ao longo do andamento da obra, observou-se que este painel era muito utilizado quando um visitante ou representante do cliente necessitava algum tipo de explicação sobre o andamento da obra. Portanto, pode-se afirmar que a partir das observações vivenciadas, a explicação das informações dadas com relação ao plano logístico foi facilitada pelo uso destes painéis visuais.



Figura 52 – Implementação dos painéis em obra.

Outra cópia foi inserida no painel de entrada da área de montagem da obra (Figura 53) para visualização por parte do montador, cliente, demais empresas que também trabalhavam na obra e visitantes. O emprego destes dispositivos visuais foi uma maneira de entender melhor a organização da obra e fazer as pessoas que frequentavam a obra se sentirem parte dela, entendendo a organização dos materiais no canteiro e os fluxos de pedestres e veículos.



Figura 53 – Painel empregado no canteiro de montagem.

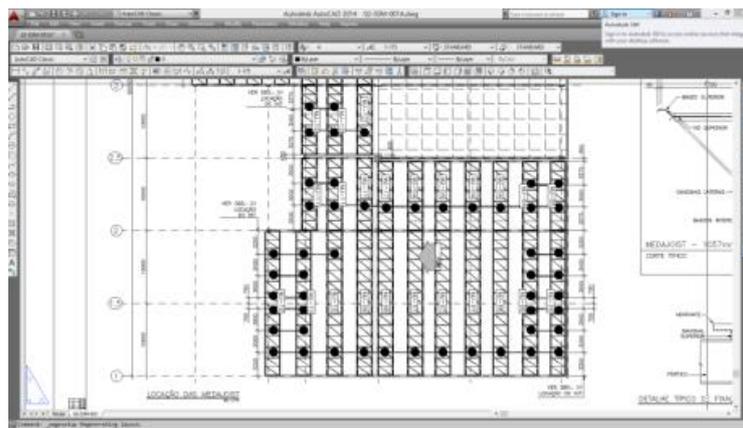
Cópias menores foram disponibilizadas em painéis pequenos de madeiras dispostos pela obra (Figura 54). Estes painéis possuíam espaços para colocação de documentos como forma de facilitar o acesso a informação por parte dos montadores, cliente e visitantes da obra.



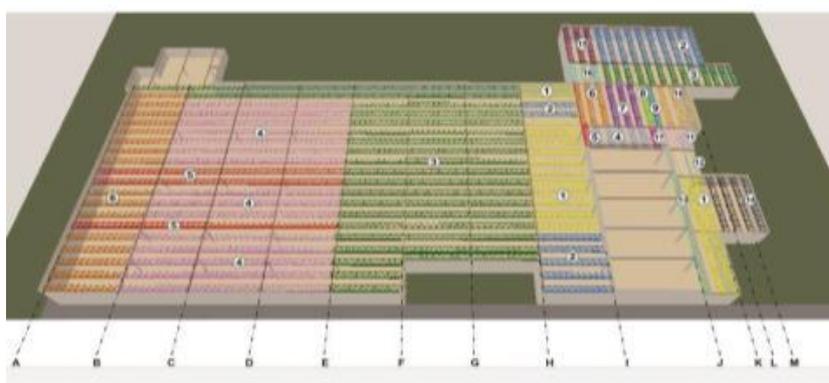
Figura 54 – Painel inserido em painéis na área de montagem.

Além destes dispositivos visuais, outra ferramenta elaborada para melhorar a gestão visual da obra foi a identificação dos diferentes tipos de treliças espaciais. As treliças espaciais fazem parte da estrutura secundária do empreendimento. Tradicionalmente, o projeto destas vigas é fornecido ao montador através de um desenho em duas dimensões, o que muitas vezes não é de fácil leitura, pois o tamanho do desenho pode ser pequeno, e as linhas escuras do projeto podem dificultar a identificação das vigas. Diante disso, tendo o modelo do empreendimento em BIM, foram identificados os diferentes tipos de treliças por cores e, posteriormente, foram inseridos números em um *software* de edição de imagens.

A captura da imagem em três dimensões facilitou a leitura do projeto para o engenheiro da obra, para o montador e para o cliente. Essa situação foi evidenciada através das observações vivenciadas pela pesquisadora durante 15 visitas à obra. Identificou-se que este dispositivo visual era utilizado por todos os envolvidos para facilitar o diálogo entre os mesmos. O engenheiro e o montador conseguiram identificar mais facilmente os diferentes tipos de vigas do projeto. Como o cliente queria estar ciente que a montagem estava ocorrendo da melhor maneira, quanto mais visual estivesse o projeto de componentes, mais fácil seria para o seu entendimento. A Figura 55 compara a utilização de uma ferramenta baseada em linhas (CAD), que é o padrão utilizado pela empresa X, com a utilização da ferramenta visual baseada em BIM.



(a)



(b)

Figura 55 – Comparação ferramentas de visualização dos tipos de vigas entre o modelo usado pela empresa X (a) e o modelo BIM 3D sugerido por este trabalho (b).

A Figura 56 ilustra uma treliça espacial modelada em BIM para identificação dos componentes em detalhe.

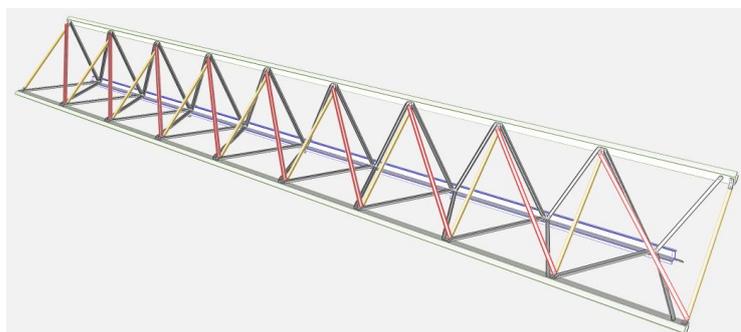


Figura 56 - Treliça espacial em BIM 3D.

### 5.5.2 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS COM A SIMULAÇÃO 4D

O estudo analisou possíveis conflitos de execução das atividades de montagem através da simulação 4D. O prédio do tipo galpão industrial é uma construção relativamente simples de

ser executada por não apresentar muitos conflitos entre a montagem dos diferentes componentes que compõem o empreendimento. Neste empreendimento, apenas uma situação de interferência entre atividades de execução foi identificada na simulação. O conflito foi a impossibilidade de execução do fechamento lateral da etapa 1 devido a execução prévia da cobertura da etapa 2 imediatamente ao lado.

Além da identificação deste conflito, ao longo do andamento da obra foi percebido outro potencial de utilização da simulação 4D em obra. O cliente realizava semanalmente, todas as sextas-feiras, uma reunião conjunta com cada representante das empresas que estavam trabalhando na obra. No total foram acompanhadas 4 reuniões com duração média de 1 hora. O escopo desta reunião era discutir a área do canteiro que cada empresa ocuparia na semana seguinte e, através disso, verificar algum possível conflito de espaço ou tempo entre as empresas. Estas reuniões ocorriam na frente de uma planta plotada em um quadro, no qual era feita uma marcação com uma cor no local que cada empresa estaria trabalhando no canteiro (Figura 57). Nesta reunião, poderia ser utilizado um modelo 4D para melhor entendimento das interferências entre todas as empresas envolvidas na obra. Para isso, foi gerada uma simulação contendo as atividades de outra empresa além da empresa X em estudo. Neste modelo foi inserido o plano de execução do piso e identificado se havia alguma interferência com as atividades da empresa X. Esta simulação foi apresentada para o cliente como sugestão de utilização da ferramenta.

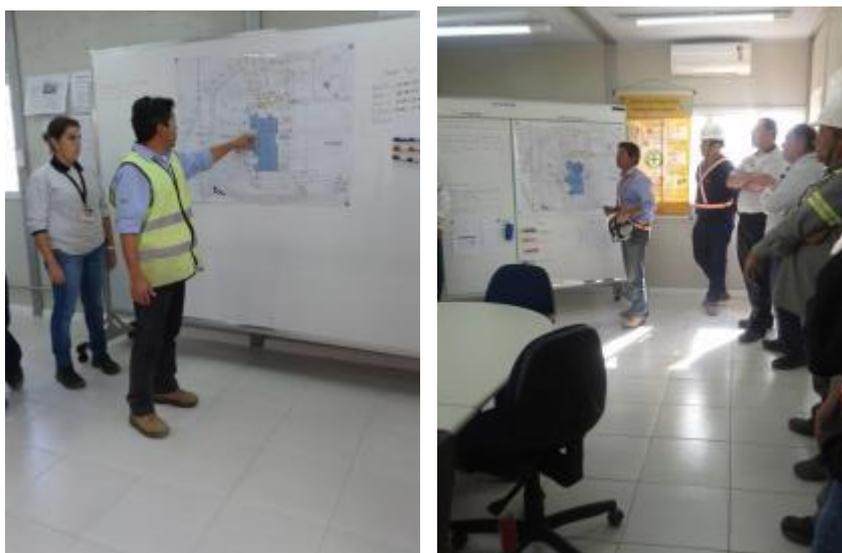


Figura 57 – Reunião com representantes das empresas que trabalham no canteiro.

O conflito de execução da empresa X com a empresa responsável pela execução do piso (denominada empresa Y), foi inicialmente identificado pelo cliente, o qual elaborou o plano

apresentado na Figura 58. No momento em que a empresa Y estaria executando o piso, a empresa X estaria executando zenitais e arremates das etapas 2 e 3, havendo, portanto, um conflito com trabalho em altura entre as duas empresas. Esta situação apresentava risco de queda de material.

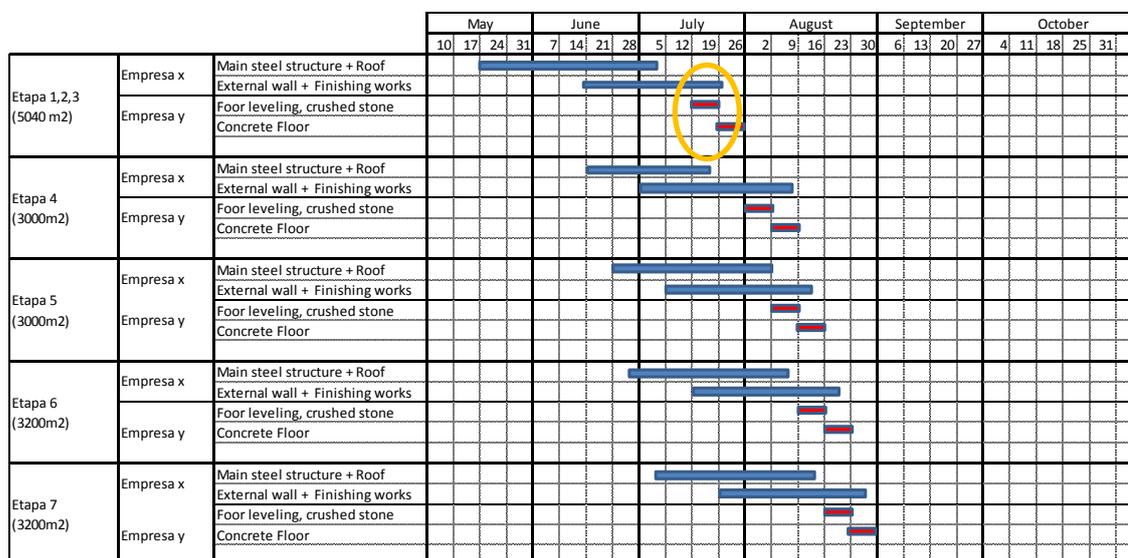


Figura 58 – Plano de atividades de interferências entre empresa X e empresa Y.

As interferências podem ser identificadas por um plano de atividades, porém, a visualização e o entendimento de outros conflitos se torna mais fácil de compreender se utilizada a simulação 4D. A simulação mostrou que, para a concretagem do piso ser realizado pela empresa Y, havia a necessidade de deixar uma via para passagem para o interior do empreendimento em algum ponto da obra. Para tal, a atividade de montagem do fechamento lateral pela empresa X deveria atrasar para o caminhão de concreto ter acesso no interior da obra.

Para resolver este conflito, o plano da empresa Y foi alterado, postergando alguns dias até a finalização das atividades em altura da empresa X. Com relação à passagem de equipamentos, a empresa X previu duas passagens para a empresa Y poder acessar o interior da obra para poder executar o piso, conforme Figura 59.

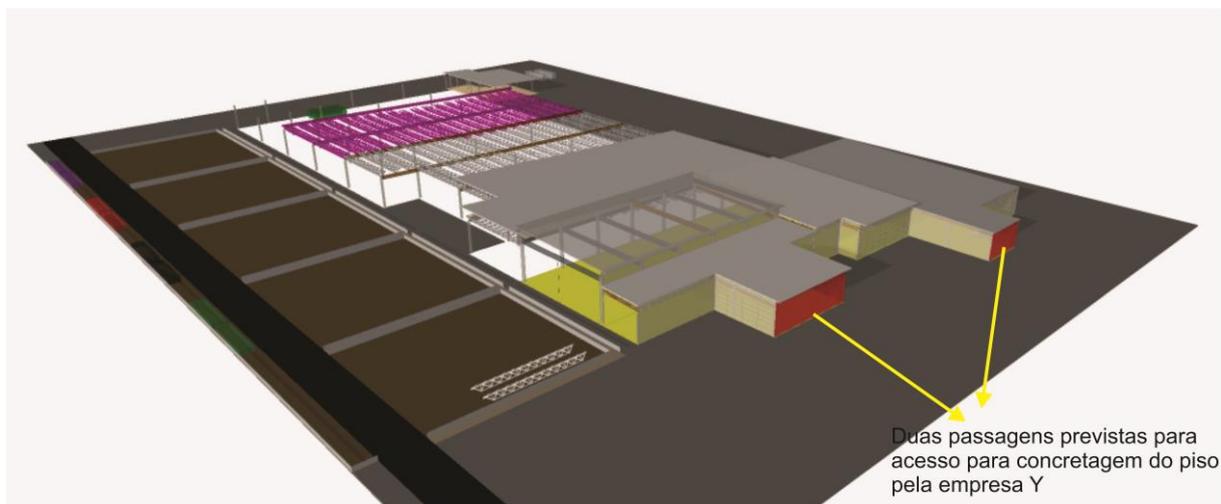


Figura 59 – Identificação na simulação 4D, do atraso programado para execução de duas passagens.

Este estudo de interferência entre duas empresas foi realizado em parceria com o cliente, o qual forneceu os dados dos planos e demais informações necessárias de execução das atividades. O resultado desta identificação foi positivo, pois a simulação 4D facilitou o entendimento dos conflitos por parte do cliente, o qual providenciou uma reunião para solucionar esta interferência entre as empresas.

A Figura 60, compara o resultado da simulação com o real acontecido em obra com relação a previsão da abertura de passagem para não haver conflitos de montagem entre as empresas.

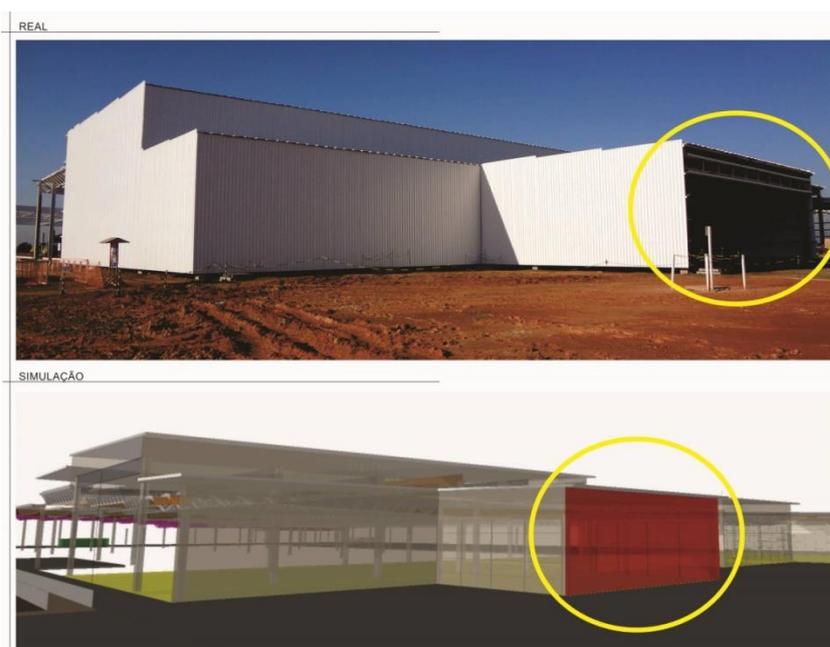


Figura 60 – Comparação da obra real com a simulação 4D.

### 5.5.3 ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO

Para analisar a implementação do plano logístico do empreendimento, foram coletados dados a partir de 15 observações realizadas em obra. As observações realizadas neste estudo foram consideradas como uma observação piloto que buscou investigar a proposição de indicadores para apoiar o modelo proposto. Dessa forma, a seção 5.7 busca sistematizar estes indicadores.

As observações realizadas buscaram analisar o plano logístico proposto considerando os seguintes itens: acesso dos caminhões no canteiro e circulação dos equipamentos nas vias destinadas ao fluxo de veículos, local de descarregamento do material conforme plano de *layout* do canteiro, tempo realizado na operação de descarregamento de material, recursos envolvidos na operação de descarregamento, identificação de incidentes e identificação de atividades de *making-do* na operação de descarregamento de material. Para facilitar a coleta destas observações, foi utilizado o protocolo de coleta de dados (Apêndice A). Além disso, sempre que alguma carga não era descarregada no local previsto, era identificada a devida causa. Este campo foi importante para fazer um refinamento do protocolo e um refinamento no plano logístico posteriormente.

Primeiramente são apresentados alguns indicadores coletados na fábrica da empresa X, os quais influenciaram a execução do plano logístico no canteiro de obra.

Na fase de implementação, algumas atividades propostas para a empresa X não foram possíveis de serem atingidas. A fábrica não seguiu a fabricação em sequência de montagem que era liberada pelo setor de projeto, pois em diferentes momentos a fábrica produziu as peças mais pesadas de toda a obra, independente da etapa e de que sequência seria montada em obra. Essa situação gerou um estoque de componentes no pátio da fábrica. Analisando dados de 12 carregamentos no pátio da fábrica, identificou-se que 50% destes 12 carregamentos, ficaram no pátio da fábrica esperando serem completados por um período de médio de 4 dias. A Figura 61 ilustra a identificação do tempo de espera que as 12 cargas levaram para poderem ser enviadas à obra.

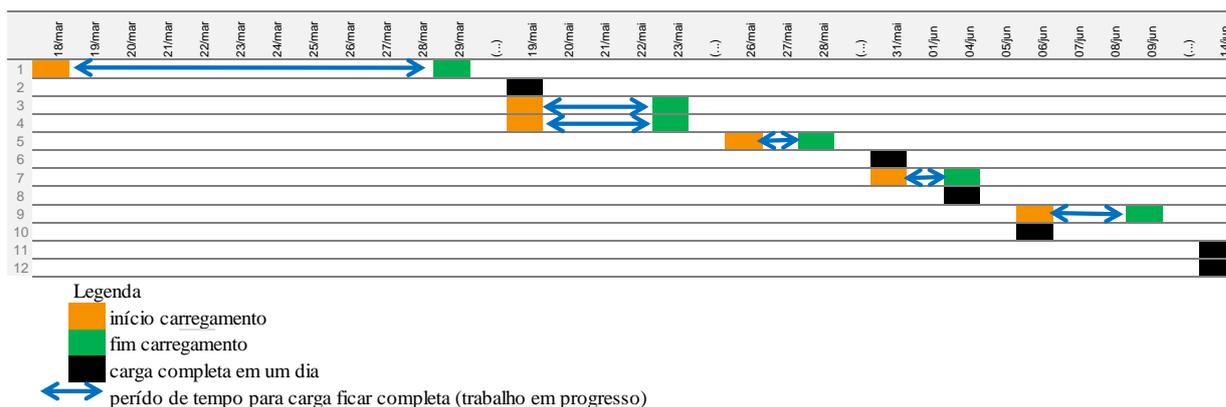


Figura 61 - Tempo de espera para o carregamento ficar completo.

Houve um acompanhamento dos romaneios das cargas, documento que chega junto com a carga em obra e que possui a descrição das peças e peso que contém na carga. O resultado da análise de 22 romaneios, ou seja, 22 cargas, foi feita em conjunto com outra pesquisadora<sup>10</sup> do NORIE-UFRGS. De uma maneira geral, a maioria das cargas foram montadas conforme o acordado, com componentes de uma mesma subetapa. Na Figura 62, cada cor representa uma subetapa da obra. Porém, houve alguns desvios, como, por exemplo, a carga 22 que tinha misturadas várias subetapas. Provavelmente, esta situação ocorreu devido ao fato de que algumas peças não foram fabricadas juntamente com o restante da etapa e por isso não foram entregues em conjunto. Esta análise indicou que houve mistura de peças de diferentes etapas em algumas cargas, o que representou 27,27% do total de 22 cargas.

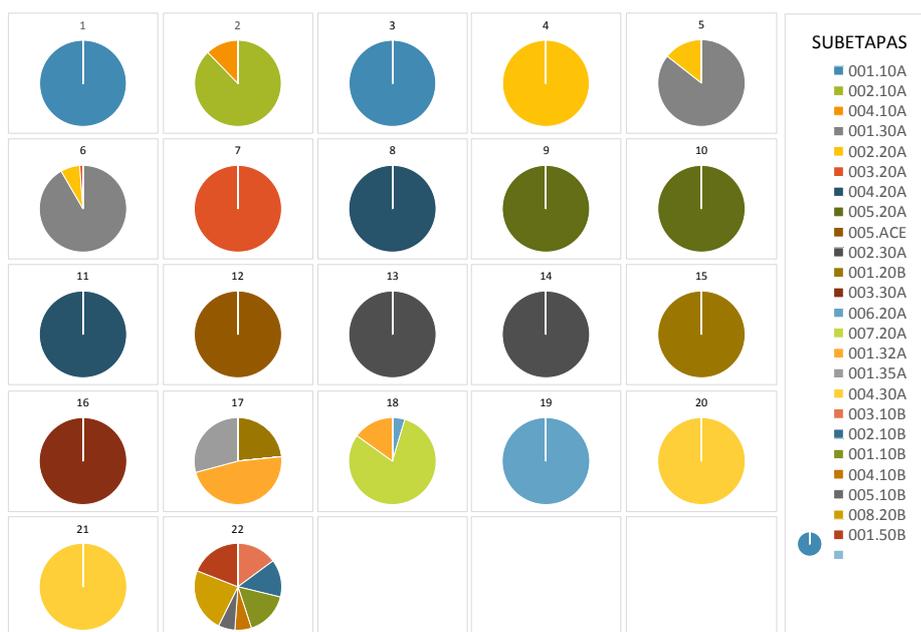


Figura 62 – Análise dos romaneios das cargas.

<sup>10</sup> Daniela Dietz Viana

Outro ponto observado foi a produção de todas as diagonais das treliças espaciais de todas as etapas de uma só vez, pois não houve um planejamento na fábrica sincronizado com a entrega de materiais no canteiro de obra, gerando um estoque desnecessário no pátio da fábrica. Isto comprometeu tanto a logística da fábrica quanto a da obra. A logística da fábrica tentou amenizar a situação e ficou com um estoque de peças na fábrica muito grande, aguardando enviar as peças para a obra quando as mesmas fossem ser utilizadas na montagem.

Como os componentes não foram fabricados na ordem de sequência de montagem em obra, chegou um momento em que o pátio da fábrica não comportava mais os estoques de materiais, que, por esta razão, foram enviados para obra. Com relação à entrega dos componentes para a pré-montagem das treliças espaciais, a Figura 63 ilustra que os materiais desta atividade ficaram ocupando espaço no canteiro por um período considerável, sem serem utilizados. Analisando as entregas dos componentes das treliças espaciais das etapas 2, 3, 4, 5, 6 e 7, as mesmas ficaram respectivamente 1, 8, 26, 39, 40 e 46 dias estocadas no canteiro de obra. Ou seja, os estoques das últimas 3 etapas ficaram mais de um mês estocados no canteiro de obra esperando as atividades iniciarem.

A Figura 63 mostra a aderência à data de entrega, com data da entrega planejada e a data de entrega real comparando com o início da execução da atividade. Em resumo, o gráfico indica que a aderência de entrega foi alta, apesar do longo tempo no canteiro, ou seja, aproximadamente 33% das cargas chegaram antes da data planejada, e 67% das cargas chegaram depois da data planejada com média de espera para a entrega de 4 dias.

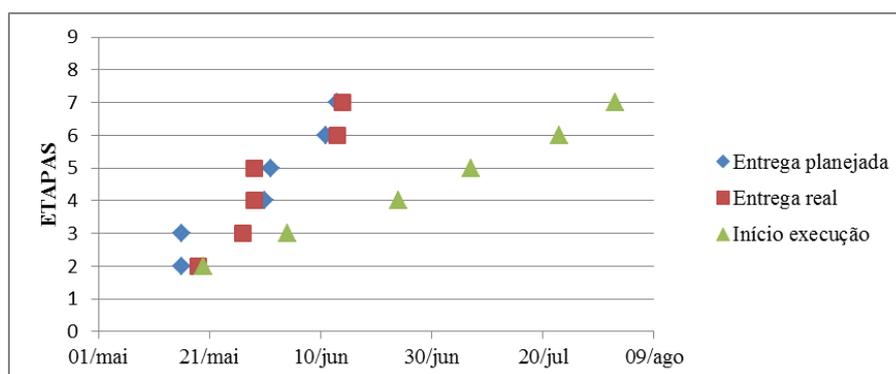


Figura 63 – Aderência à data de entrega e início da execução da atividade de treliças espaciais.

Já a atividade de montagem de pórticos aproximou-se das datas de entrega planejadas, como ilustrado na Figura 64. Ao chegar o material de pórtico de cada etapa, este era descarregado próximo à área de içamento, e no mesmo dia ou no dia seguinte este material já era

consumido. Houve uma exceção para as etapas 8 e 9 que não foram utilizadas em sequência do descarregamento em função de interferência com atividades de outra empresa construtora. Analisando as entregas das 9 etapas, os componentes de pórticos ficaram respectivamente 3, 1, 4, 8, 5, 1, 14, 13, 13 dias estocadas no canteiro de obra. Estes componentes ficaram em média 5 dias estocadas no canteiro de obra.

Em resumo, a Figura 64 indica que a aderência à data de entrega chegou próximo a data planejada, porém com mais atraso se comparado com a entrega dos componentes das treliças, com média de espera para entrega de 12 dias.

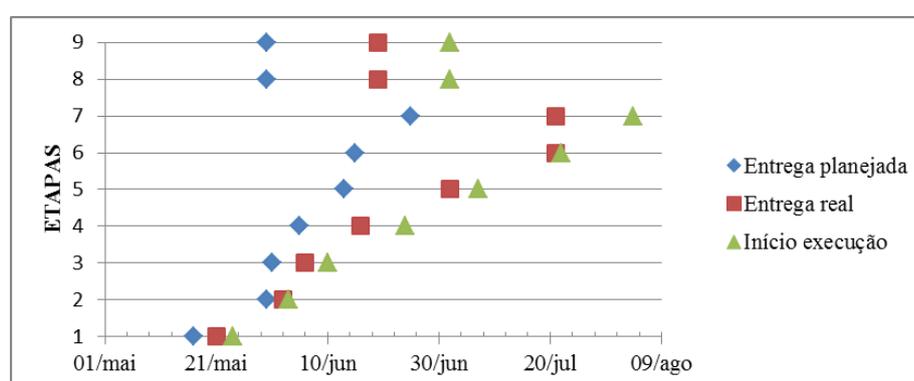
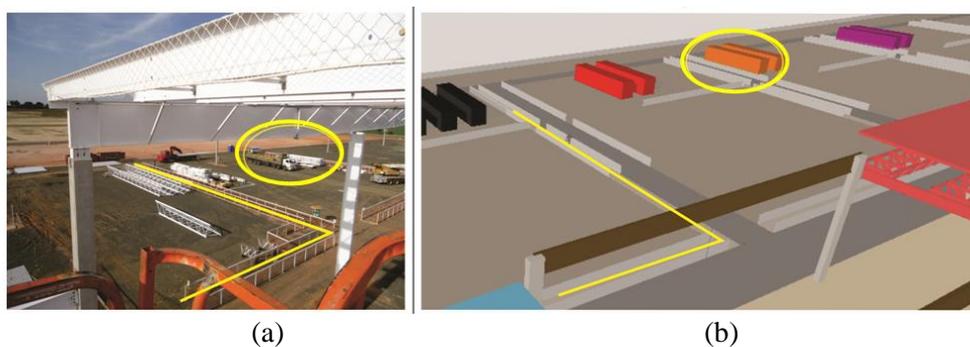


Figura 64 – Aderência à data de entrega e início da execução dos pórticos.

Considerando os dados coletados pelo protocolo de coleta de dados, junto com o acompanhamento dos descarregamentos foi realizado o registro fotográfico para evidenciar as situações encontradas e reportar sugestões de melhorias para a logística da fábrica da empresa. As fotografias de algumas situações do canteiro de obra foram comparadas com imagens da simulação 4D na Figura 65. As situações identificadas ilustram a execução do plano de *layout* proposto, identificando as vias de pedestres cercadas; as vias dos equipamentos sinalizadas e o descarregamento dos *skids* de materiais nos locais planejados.



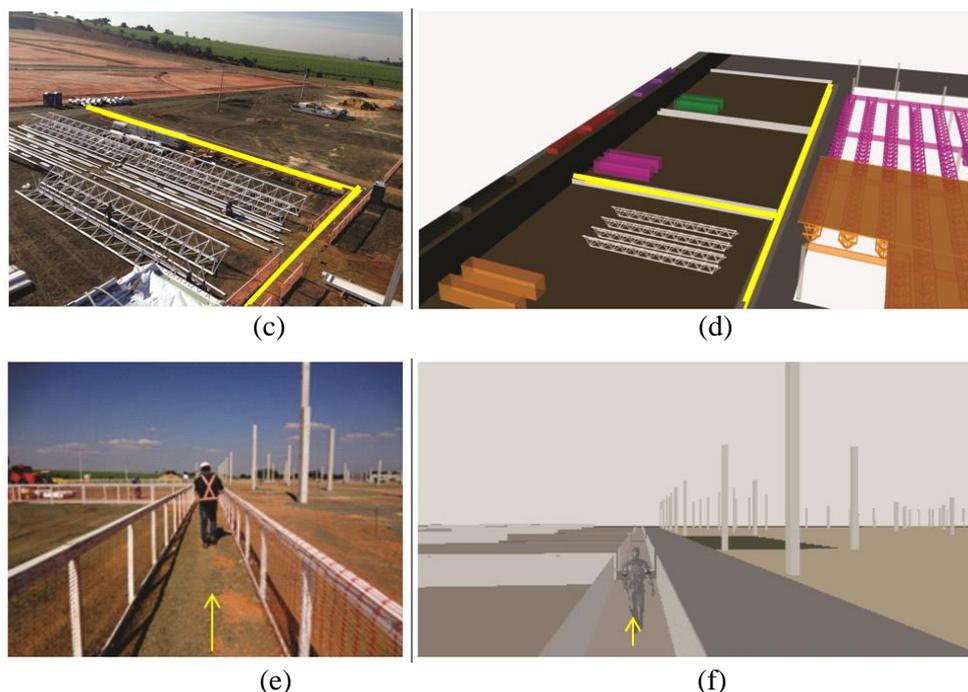


Figura 65 – Comparação da simulação 4D com a execução da obra real – (a e b) posição do descarregamento dos *skids*; (c e d) separação em baias; (e e f) vias de pedestres cercadas.

A Figura 65 (a e b) identifica a obra o descarregamento dos *skids* no local planejado na simulação. A Figura 65 (c e d) ilustra a separação das etapas de execução da obra em baias para evitar a mistura de peças. A Figura 65 (e e f) mostra a passagem de pedestre cercadas visando uma maior segurança em obra. Estas figuras ilustram pontos identificados no tempo. Para complementação da avaliação do plano, a seguir são tratados os dados das coletas executadas.

Na coleta de dados com o protocolo, foram coletados dados de 15 operações de descarga, sendo identificadas 4 situações de desvio no plano com relação ao local correto de descarregamento. Essa identificação representa que 26% dos descarregamentos observados não cumpriram o plano logístico com relação ao local. A primeira causa da falta de aderência foi um erro por parte do engenheiro com a localização da área de estocagem da etapa 3 em obra. Outras duas situações serviram de base para alteração no plano do *layout* da obra que passou a ser seguido nos descarregamentos seguintes. Uma situação foi a presença da rede de alta tensão que não havia sido considerada no plano logístico. Para evitar possíveis riscos de transmissão de corrente elétrica, os *skids* foram replanejados para serem descarregados um pouco mais à frente do planejado. A outra situação que modificou o *layout* foi a liberação do cliente em descarregar os *skids* de pórticos dentro da área de içamento. A partir dessa liberação, foram definidas essas novas localizações dos descarregamentos de pórticos.

Outro problema identificado foi a mistura de etapas de algumas cargas. A situação mais crítica foi um *skid* com subetapa de estrutura das etapas 8 e 9, que continha também materiais de pequeno volume (em caixas) de várias outras etapas da obra. Este descarregamento foi feito em um apenas um local, próximo a área de montagem das etapas 8 e 9. As peças das demais etapas ficaram neste mesmo estoque, distante de suas áreas de montagem. A Figura 66 ilustra esta situação.



Figura 66 – Carga com etapas misturadas.

A Figura 67 ilustra o descarregamento dos materiais das subetapas de estrutura (pórticos e treliças) de todas as etapas. Nesta imagem, um mapa identifica as cargas que foram descarregadas no local correto, e as que não foram com os devidos motivos.

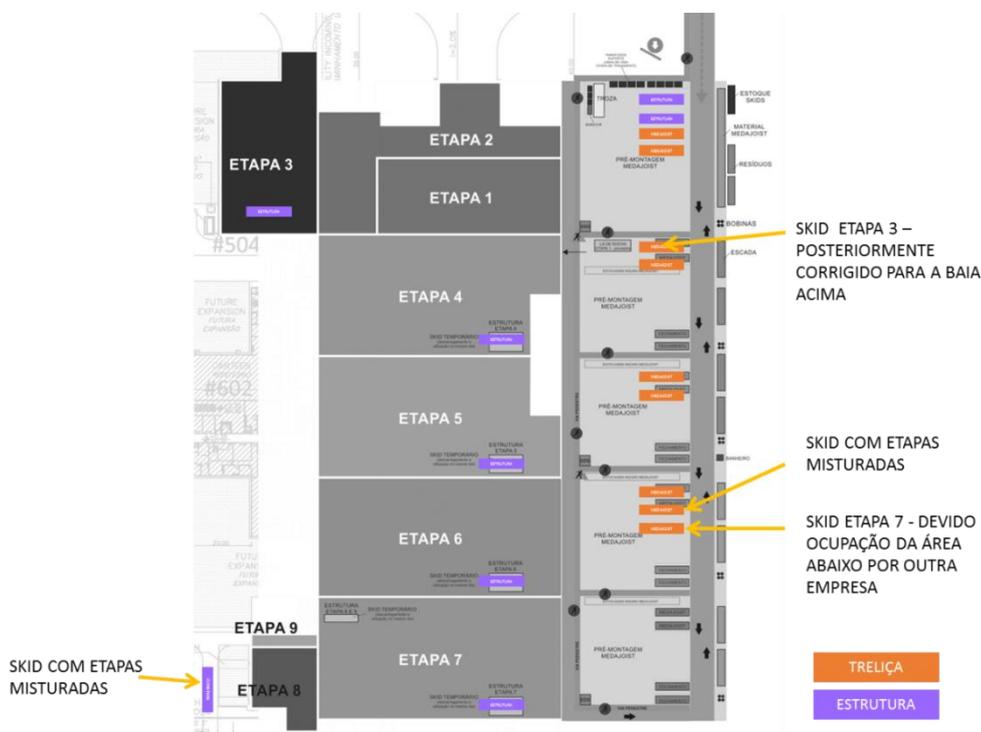


Figura 67 – Identificação dos descarregamentos de *skids* de estrutura e treliça.

Analisando questões de segurança, algumas cargas apresentaram situações de risco devido à presença de caixas soltas no *skid*. Nestas situações, o descarregamento foi um pouco prejudicado, pois as caixas não haviam sido desenhadas nos planos de carga.

A Figura 68 ilustra os principais incidentes identificados no acompanhamento de 15 descarregamentos de *skids*. No total, foram identificados 14 incidentes neste acompanhamento. O principal risco identificado foi com relação à queda de materiais configurando um risco aos montadores que realizavam o descarregamento. Este risco ocorria pois a carga dos materiais nos *skids* estava desbalanceada, ou seja, uma concentração maior da carga em um ponto.

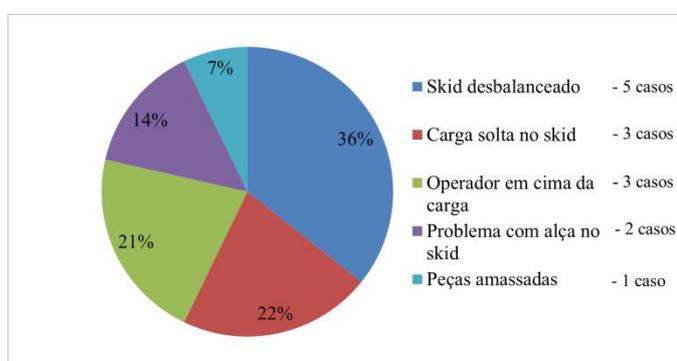


Figura 68 – Riscos identificados em 15 descarregamentos.

Esta situação envolvia o risco de queda de material em altura, pois ao ser erguida a carga com o auxílio de um guindaste, o *skid* ficava inclinado para um dos lados, podendo levar ao risco das peças escorregarem e caírem (Figura 69).



Figura 69 – Carga desbalanceada no *skid* durante descarregamento.

Com relação aos dados coletados de *making-do*, foram apontadas algumas situações negativas e outras positivas. Duas situações negativas foram identificadas em dois descarregamentos, sendo a primeira a falta de recurso de equipamento para o descarregamento de um *skid*. Nesta

situação, um *skid* com uma carga de 30 toneladas chegou à obra e foi iniciado o seu descarregamento sem ter o guindaste com a capacidade correta para descarregar. Após a verificação de que não seria possível realizar o descarregamento, houve um empréstimo de outro guindaste para auxiliar no descarregamento.

A segunda situação foi a falta do técnico de segurança em alguns descarregamentos para apontar situações de risco e parar a atividade caso fosse necessário.

Como ponto positivo, foi registrada a situação de reaproveitamento dos *skids* vazios que estavam na obra para estocagem de lâ de rocha em cima. As cargas com lâ de rocha faziam parte do escopo do contrato, porém não haviam sido planejadas por não ser escopo de fabricação da empresa X. A lâ de rocha necessita de uma proteção, não podendo ficar em exposição no solo, e no momento que a primeira carga deste material chegou a obra não havia sido pensado em como proceder este isolamento. Observado que os *skids* vazios estavam à disposição na obra, eles serviram para estocagem deste material, caracterizando um tipo de *making-do*. Esta situação identificou a necessidade de pensar neste planejamento de estoque nas próximas obras devido ao grande volume que este material ocupa.

Além dos dados coletados pelo protocolo de coleta de dados, foram coletados dados referentes à execução da montagem das etapas. Os dados de execução da atividade de montagem dos pórticos foram analisados na Figura 70, a qual mostra o avanço físico com a data planejada de execução dos pórticos de cada etapa da obra e a data real executada. Foi identificado um atraso na montagem desta atividade em função da falta de material em obra. Respectivamente foram registrados os dias de atraso da execução das 9 etapas de pórtico: 5, 1, 5, 25, 23, 29, 35, 37 e 30 dias. A média de espera de iniciar a execução foi de 21 dias.

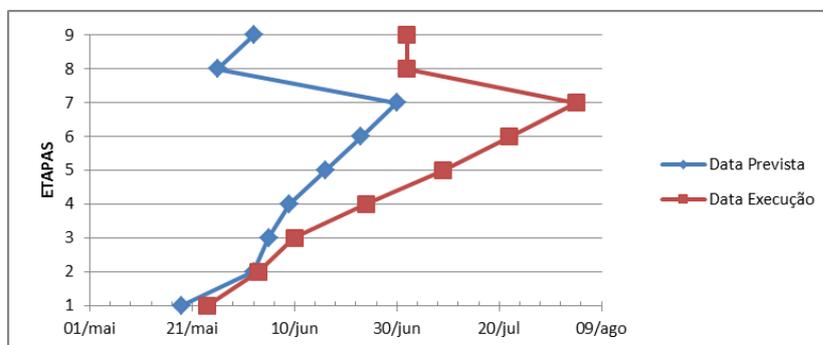


Figura 70 – Avanço físico da atividade de pórtico.

Outro gráfico, ilustrado pela Figura 71, representa o trabalho em progresso da atividade de pórtico das nove etapas da obra. Nesta figura, as datas de início de execução dos pórticos de cada etapa, bem como as datas de finalização desta atividade foram inseridas de modo a visualizar o tempo em que estas etapas ficarem em aberto, ou seja, em execução. Como primeira análise pode-se concluir que nas etapas iniciais houve um processo de aprendizagem, pois foram as primeiras atividades em obra, por isso, apresentaram um tempo maior de trabalho em progresso, com média de 11 dias. As etapas 5, 6 e 7 eram muito semelhantes e, a partir da etapa 5, houve um aumento no efetivo da obra, resultando em uma execução mais rápida destas etapas, com média de trabalho em progresso de 5 dias. As etapas 8 e 9 ficaram por um tempo maior em execução pois houve um conflito com outra empresa construtora realizando atividade no mesmo local, por isso apresentaram uma média de trabalho em progresso de 18 dias.

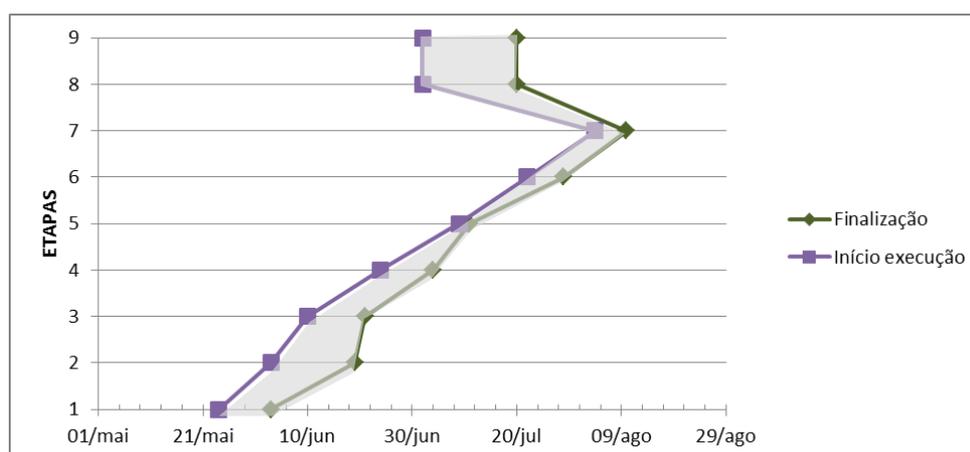


Figura 71 – Trabalho em progresso da atividade de pórtico.

#### 5.5.4 FASE DE REFINAMENTO

A fase de refinamento ocorreu com o tratamento dos dados coletados em obra e apresentação dos resultados em um seminário na empresa X. O seminário foi realizado no dia 05/06 e teve como objetivo apresentar um retorno da obra para a fábrica, a partir do andamento do estudo. Tradicionalmente, as situações que ocorrem nas obras da empresa não são reportadas para a fábrica, o que faz com que sejam perdidas oportunidades de melhorias. Por isso, este seminário teve o intuito de gerar discussões das ações realizadas na fábrica e na logística que refletem na montagem da obra.

Este seminário teve duração de 2 horas e estavam presentes: o diretor da engenharia da empresa X, o coordenador de melhoria contínua, o coordenador de logística da fábrica, o

coordenador de projeto e alguns coordenadores de outras obras. A apresentação contemplou as ações implementadas na obra por este trabalho e as ações implementadas na fábrica da empresa por meio do trabalho de outra pesquisadora. Após, houve a discussão entre os envolvidos das melhorias que poderiam ser adotadas. O principal ponto levantado foi com relação aos incidentes observados no descarregamento dos materiais. Esta situação apoiou a tomada de decisão da empresa quanto a realização de um novo treinamento dos montadores quanto as questões de segurança.

Após o seminário, foi feito um refinamento do protocolo de coleta de dados, retirando alguns campos que não foram considerados importantes para o preenchimento, e acrescentando outros pontos nos quais se sentiu necessidade e de uma forma que facilitasse o preenchimento. Esse protocolo está apresentado no Apêndice A. Nos dias que não foi possível estar presente na obra, contou-se com a colaboração de uma *trainee* da empresa X para a coleta de dados segundo o protocolo.

Posteriormente, foi necessário alterar o plano logístico devido a alguns fatores inerentes da obra, como incertezas, variabilidade, características que não são contempladas no modelo de simulação. Além disso, os ensinamentos aprendidos com a execução das 3 primeiras etapas concluídas da obra foram levados em consideração para o replanejamento das demais etapas. O plano logístico teve de ser modificado em função da liberação do cliente para realização do descarregamento de pórticos dentro da área de montagem e liberação de uma área maior para pré-montagem de vigas (Figura 72).

Diante disso, alguns estoques foram realocados. O descarregamento dos pórticos foi replanejado para ocorrer dentro da área de montagem. Com esta mudança, as peças eram distribuídas perto dos locais de içamento no mesmo dia que a carreta chegava à obra. A realocação destes descarregamentos para dentro da área de montagem de cada etapa foi uma melhoria no processo, pois diminuiu uma etapa de transporte.

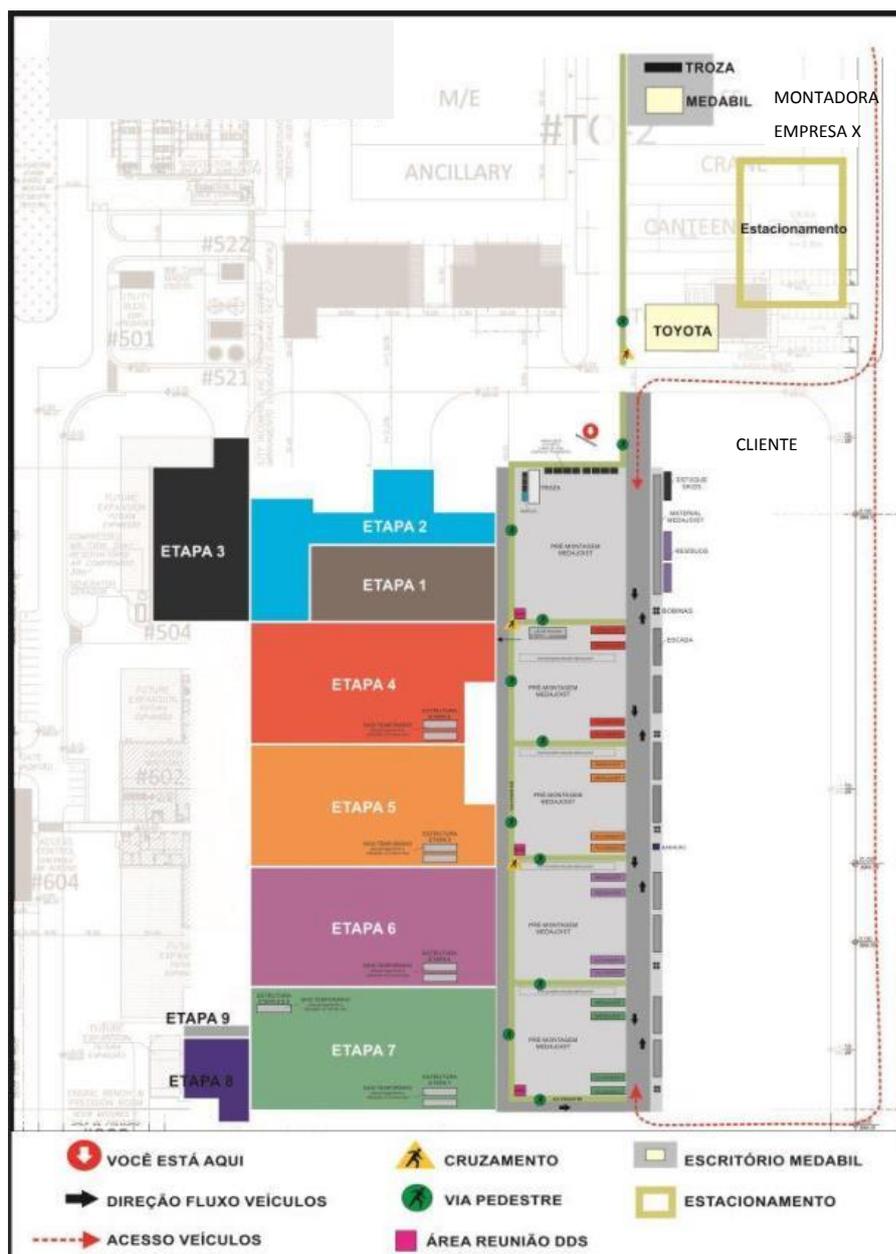


Figura 72 – Refinamento do plano de macro *layout* do empreendimento.

Tendo em vista a falta de comunicação entre os setores de montagem e logística, foi criado um campo dentro do relatório semanal do engenheiro da obra como forma de sistematizar um retorno para a fábrica sobre os acontecimentos da obra. Este relatório semanal é uma prática da empresa, na qual o engenheiro responsável pela obra envia para diretoria, <sup>EMPRESA X</sup> e demais pessoas envolvidas da empresa X, as informações gerais da situação da obra como avanço físico, entregas atrasadas, efetivo. O campo incluído refere-se a um relato dirigido à logística da fábrica. Toda semana era preenchido um comentário a respeito da situação da logística da obra como forma de sistematizar a coleta de dados e o envio desse retorno para os

envolvidos. Esta retroalimentação pode ser o ponto de partida para a realização de melhorias e para aumentar a integração entre fábrica e obra.

A fase de refinamento do planejamento logístico também contou com um estudo de um processo crítico da obra descrito a seguir.

### 5.5.5 SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO CRÍTICO

Tendo em vista as lições aprendidas com a execução das primeiras etapas da obra, foi escolhido o processo crítico de pré-montagem e içamento das treliças espaciais para realização de um estudo de melhoria nas operações logísticas deste processo. Este estudo foi realizado em conjunto com outro pesquisador<sup>11</sup> do NORIE-UFRGS na realização de procedimentos de padronização de atividade de montagem. A etapa escolhida foi a 6, pois as anteriores já haviam sido iniciadas em obra, e a mesma situação ocorreria posteriormente na etapa 7, tornando possível avaliar a utilidade do modelo simulado. A Figura 73 ilustra a identificação deste processo analisado dentro da sequência de execução das atividades de uma etapa completa da obra.



Figura 73 – Mapa do processo analisado.

Para realização deste estudo, primeiramente houve uma fase de análise e compreensão do plano proposto pela empresa para a realização deste processo e análise das práticas utilizadas na execução das etapas anteriores. A Figura 74 apresenta o plano básico de planejamento deste processo, tradicionalmente utilizado nas obras da empresa, mostrando a atividade de pré-montagem das vigas em solo (primeira linha) e o içamento dos pórticos (segunda linha) separados em etapas por cores.

<sup>11</sup> Rodrigo Sanches

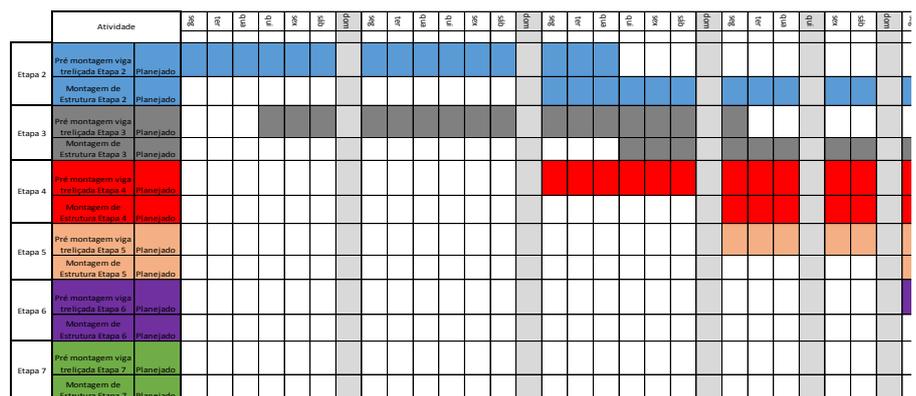
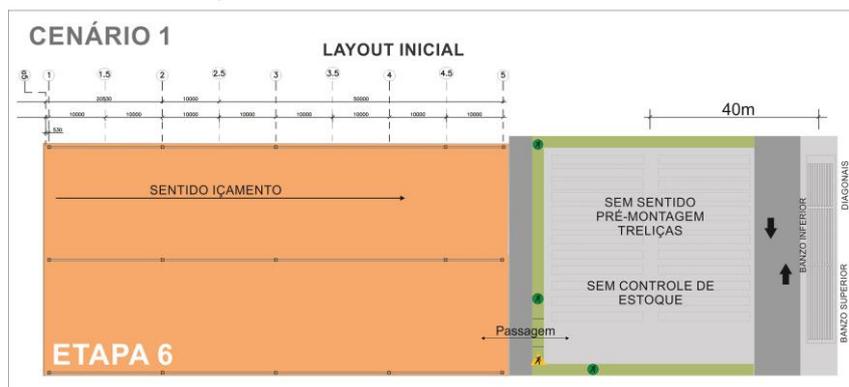


Figura 74 – Cronograma de execução do processo analisado segunda padrões da empresa.

Analisando este plano, identificou-se que a execução da pré-montagem das treliças espaciais inicia alguns dias antes do içamento dos pórticos, resultando em um estoque grande de peças prontas no solo, em torno de 36 treliças. Em alguns pontos a atividade de pré-montagem e içamento de pórtico ocorre em paralelo. Essa situação resulta em várias etapas sendo executadas ao mesmo tempo, com um trabalho em progresso grande, o que não é vantajoso para a obra, pois as etapas não são liberadas para a próxima equipe entrar, no caso, a equipe de instalação de tela de proteção na cobertura. Diante desta análise, decidiu-se alterar o plano para este processo, reduzindo o tamanho do lote para liberar as etapas o quanto antes para a equipe seguinte poder realizar a sua atividade e diminuir o estoque das vigas em solo, tornando o processo de pré-montagem e içamento mais enxuto e contínuo.

A Figura 75 ilustra o cenário de execução deste processo no início da obra. No início da obra, o plano logístico envolveu apenas o planejamento de macro *layout* dos materiais, portanto, não havia um controle específico em nível de componentes, ou seja, micro *layout*. Como este estoque dos componentes para montagem das treliças não foi estudado, ele acabou ficando distante da área de pré-montagem, gerando um transporte desnecessário, sendo percorrido 40 metros entre o estoque e a atividade de pré-montagem. Além disso, a produção das treliças por parte dos montadores não seguia uma padronização das atividades.



(a)



(b)

Figura 75 – *Layout* inicial da obra para pré-montagem de treliças (a) e imagem do local (b).

A Figura 76 apresenta a produtividade deste processo no início da obra, o que representou a montagem de 1,15 treliças por dia. O maior tempo despendido neste processo foi no transporte de diagonais. Esta análise inicial, apresentou um tempo de transporte de 41% em função da disposição dos materiais no *layout*. Esta análise de dados ocorreu através do acompanhamento da atividade de pré-montagem das treliças em conjunto com o pesquisador do NORIE-UFRGS através da quantificação do tempo despendido em cada atividade para a pré-montagem de 12 treliças.

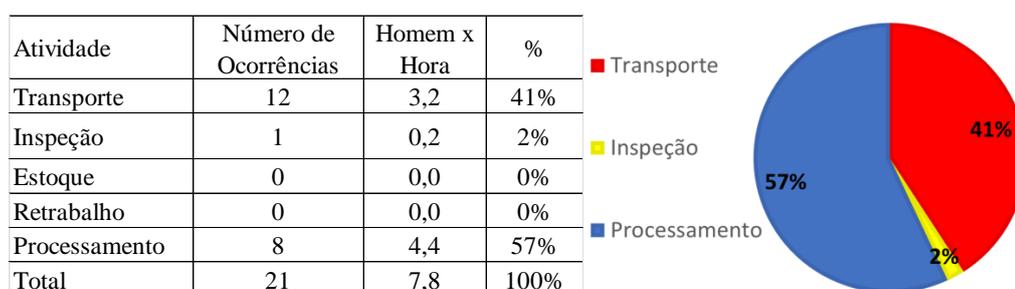


Figura 76 – Análise de tempos iniciais.

Diante desta análise, foi realizado um estudo do planejamento da produção e da logística deste processo específico. Este processo foi modelado em BIM, o que demandou em torno de 5 horas de modelagem. A área de estocagem e a área de montagem conforme situação existente em obra foram modeladas. Na área de montagem, as treliças foram modeladas contemplando seu processo de pré-montagem em solo e, após, o seu içamento.

Para estimar o número de treliças a serem pré-montadas em solo, foram coletados os seguintes dados da equipe de montagem nas etapas executadas anteriormente: tempo de pré-montagem da viga em solo, tempo de transporte da peça montada, tempo de lavagem, tempo de içamento, tempo de travamento (Figura 77). Ainda, o tempo de içamento de dois pórticos foi medido para dar uma estimativa do tempo disponível necessário para iniciar a pré-montagem das treliças em solo. Estes dados foram coletados em conjunto o pesquisador do NORIE-UFRGS, o qual filmou as atividades de execução envolvidas neste processo nas primeiras etapas executadas da obra.

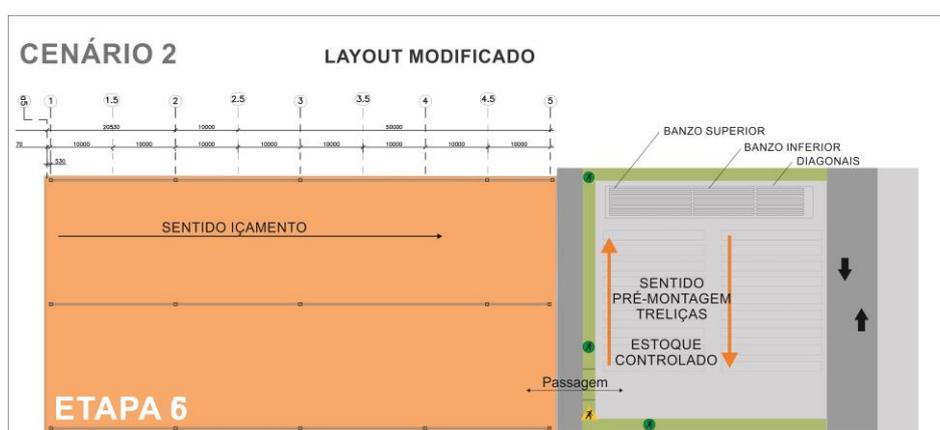
| Análise do processo içamento pórtico + pré-montagem treliça                               |               |                 |
|---|---------------|-----------------|
| Tarefa preparo isumos para montagem treliça   | Duração (min) | Duração (horas) |
| Estocagem do Material para Treliça - Por Etapa  | 415           | 6h 55min        |
| Organização do Layout da área de Pré montagem (banzos, acessórios e diagonais inferiores) | 60            | 1h              |
| Total   | 475           | 7h 55min        |
| Tarefa pré-montagem treliça   |               |                 |
| Tarefa pré-montagem treliça   | Duração (min) | Duração (horas) |
| Pré montagem de 1 Treliça   | 80            | 1h 20min        |
| Ajuste e aperto de 1 Treliça  | 30            | 30min           |
| Transporte de 1 Treliça para Lavagem  | 7             | 7min            |
| Lavagem de 1 Treliça  | 25            | 25min           |
| Total   | 142           | 2h 22min        |
| Tarefa - pórtico + travamento   |               |                 |
| Tarefa - pórtico + travamento   | Duração (min) | Duração (horas) |
| Içamento Pórtico (módulo travado por 2 treliças)  | 210           | 3h 30min        |
| Transporte de Treliça de travamento 1 - área de içamento                                  | 3             | 3min            |
| Içamento de Treliça de travamento 1   | 30            | 30min           |
| Transporte de Treliças de travamento 2 - área de içamento                                 | 3             | 3min            |
| Içamento de Treliça de travamento 2   | 25            | 25min           |
| Total=  | 271           | 4h 31min        |

Figura 77 – Análise dos tempos do processo de içamento de pórtico e pré-montagem de viga.

Com a análise dos tempos, foi elaborado um novo plano, que foi usado como base para outro modelo de simulação. Cada elemento do modelo foi vinculado com o tempo de execução de cada atividade. Dessa maneira, foi definido o tempo necessário para a pré-montagem das vigas que compõem esta etapa, de acordo com o espaço definido para essa atividade. Primeiramente foi criada uma linha de montagem para a pré-montagem das treliças espaciais no solo. Os componentes necessários para a pré-montagem das treliças foram dispostos em

linha e localizados próximos a esta área e separados em banzos inferiores, banzos superiores, diagonais e parafusos (Figura 78). Posteriormente, foi definida a quantidade de treliças a serem pré-montadas antes do início do içamento das mesmas. Com este estudo, o estoque máximo de treliças em solo foi estimado em 14 peças.

Mudanças no *layout* foram realizadas para execução da atividade de pré-montagem utilizando a simulação 4D. A Figura 78 ilustra o plano de micro *layout* proposto. O estoque dos componentes foi localizado mais próximo da pré-montagem diminuindo o transporte.



(a)



(b)

Figura 78 - *Layout* modificado da obra para pré-montagem de treliças (a) e imagem do local (b).

O planejamento deste processo crítico foi elaborado em conjunto com o engenheiro da obra, tendo em mente o conhecimento do engenheiro na estabilização da estrutura, ou seja, o engenheiro forneceu informações de sua experiência em como travar a estrutura, sendo realizado o travamento do pórtico com duas treliças, o que auxiliou na definição da sequência de execução deste processo.

A Figura 79 apresenta imagens da simulação dispostas em um painel, mostrando a sequência de execução do processo. O modelo de simulação foi refinado ao longo de 3 reuniões realizadas em obra com o engenheiro e o montador encarregado por coordenar os processos

envolvidos nesta atividade. Nestas reuniões, de duração média de 1 hora, as discussões eram promovidas pela pesquisadora através do uso do modelo 4D. A tomada de decisão quanto a organização dos materiais no *layout* proposto e a sequência de execução da atividade foi facilitada pelo uso do modelo de simulação, tendo em vista que os participantes envolvidos conseguiam visualizar de uma forma clara e conjunta o que estava sendo planejado.

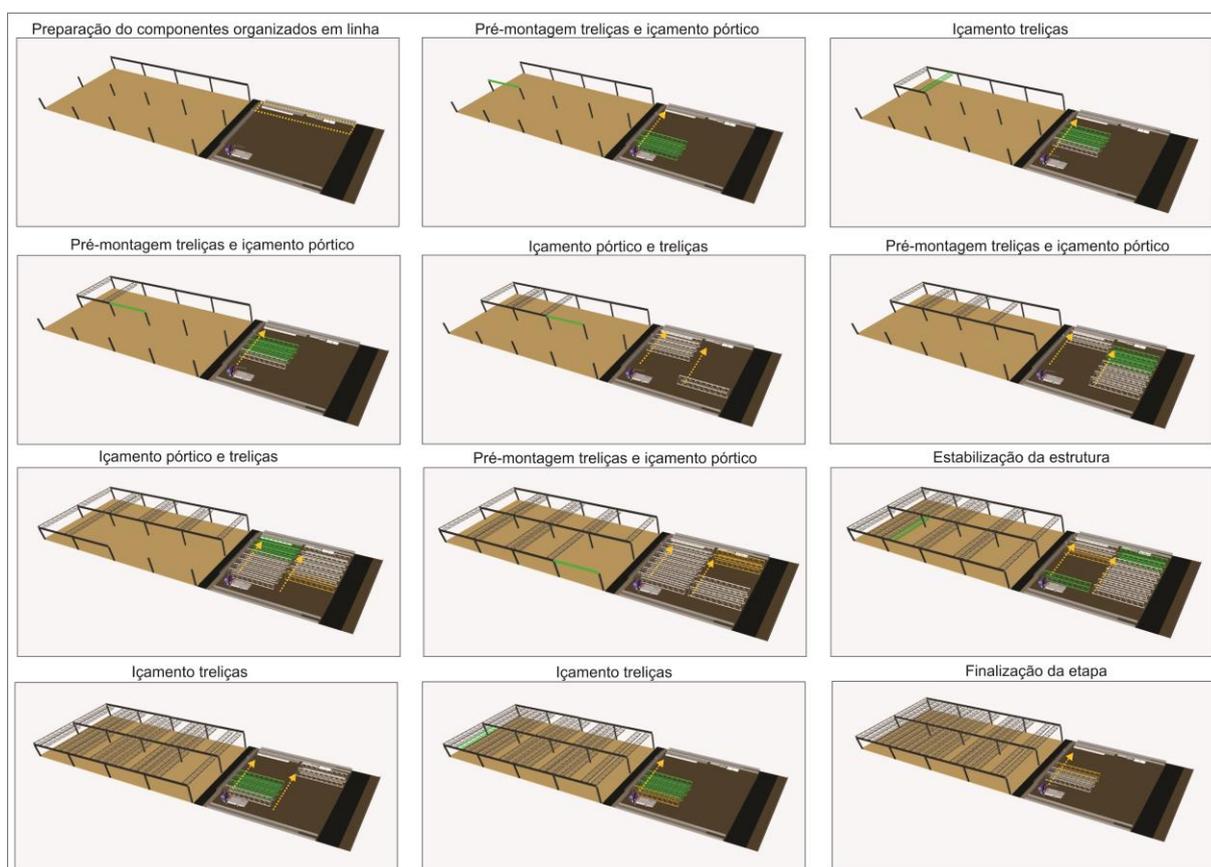


Figura 79 – Painel com imagens da simulação 4D do processo.

Estas imagens da simulação foram disponibilizadas no escritório do montador localizado na área de montagem e no escritório da empresa X locado em obra. Este painel foi utilizado pelo montador responsável pela coordenação desta atividade e pelo engenheiro.

Para avaliação da utilidade do modelo, foi acompanhada a execução do processo crítico simulado nas etapas 6 e 7 da obra em estudo. Este acompanhamento ocorreu através do registro fotográfico e da análise de produtividade da montagem. Através das fotos foi possível comparar com as imagens da simulação conforme Figura 80.

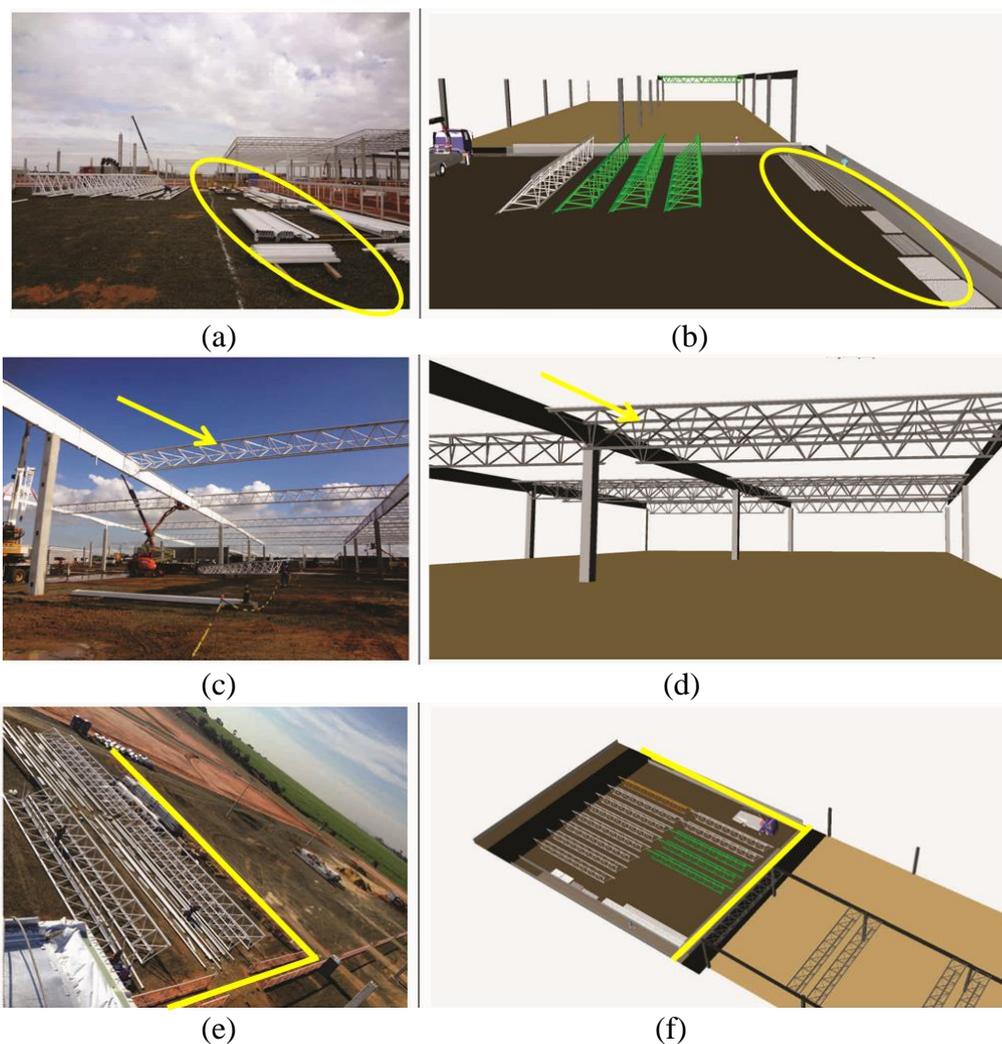


Figura 80 – Comparação da simulação 4D com a execução da obra – (a e b) insumos para pré-montagem; (c e d) sequência de içamento; (e e f) isolamento das etapas.

A Figura 80 (a e b) ilustra a localização dos insumos dispostos em linha para a pré-montagem das treliças em solo. A Figura 80 (c e d) identifica a sequência de içamento das treliças conforme planejada. A Figura 80 (e e f) mostra o isolamento das etapas e a circulação de pessoas. A seguir, foram feitas montagens com ângulos mais próximos da situação real comparando com a simulação realizada (Figura 81 e Figura 82).



Figura 81 – Comparação simulação 4D com obra real – ângulo 1.



Figura 82 - Comparação simulação 4D com obra real – ângulo 3.

Através das modificações no *layout* com a organização dos insumos para a pré-montagem das treliças mais próximo possível da atividade, do estudo de sequenciamento das atividades de pré-montagem e içamento das treliças espaciais com o uso da simulação 4D, a produtividade aumentou para 1,36 treliça por dia (Figura 83). Através desta análise, foi possível avaliar a utilidade do modelo de simulação, pois foi conferido que o processo modelado reduziu o transporte para 30%, o que aumentou a produtividade em 15% e diminuiu o estoque em 61% (de 36 treliças para 14 treliças no máximo).

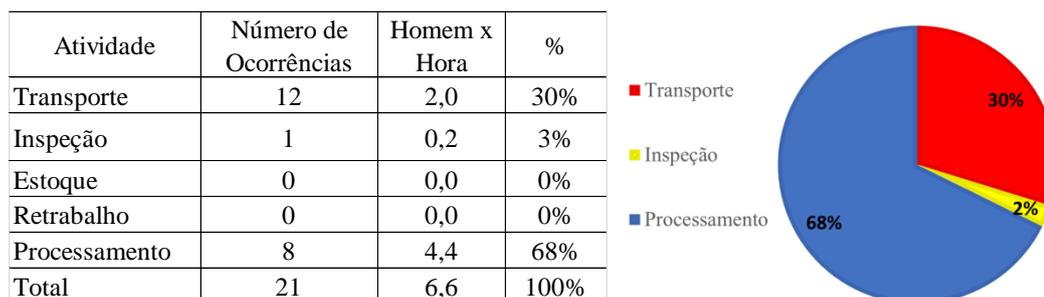


Figura 83 – Análise de tempos .

### 5.5.6 CONCLUSÕES DO ESTUDO EMPÍRICO 3

O resultado principal deste estudo empírico foi relacionado à organização do canteiro de obra e a identificação dos materiais conforme as etapas e subetapas. Se comparado com outras obras da empresa, esta obra apresentou melhorias na identificação dos estoques e na separação homem/máquina, ponto de segurança fundamental para os operários e envolvidos na obra. Esta separação foi feita através da previsão vias separadas para pedestres e veículos, as quais foram cercadas e sinalizadas. A criação de baias separadas por etapas da obra também foi fundamental para a organização dos materiais. Todo esse planejamento teve como base a simulação 4D como ferramenta de planejamento. O apoio de ferramentas de gestão visual complementou a implementação da simulação 4D no canteiro de obra.

Com relação ao estudo da operação crítica, houve um aumento na produtividade e uma diminuição no estoque de vigas pré-montadas. A disposição e organização dos insumos para a pré-montagem destas vigas o mais próximo possível da atividade diminuiu o transporte das peças. Normalmente nas obras da empresa a localização das peças não é estudada de forma sistemática, fazendo com que, por vezes, estas sejam estocadas em locais muito distantes da área de pré-montagem.

Com relação à coleta de dados, estas foram observações que guiaram o desenvolvimento de indicadores. Os campos para preenchimento foram desenvolvidos com base nos pontos apresentados na literatura e também conforme o desenvolvimento do estudo nos quesitos considerados mais relevantes. Este protocolo serviu para análise dos dados coletados e para proposição de indicadores na seção de descrição do modelo de planejamento e controle logístico (ver seção 5.7), como forma de reportar os resultados para a empresa analisada.

Por fim, o cliente foi considerado fundamental para a realização deste estudo, tendo em vista o seu envolvimento com a pesquisa. A cobrança do cliente por parte da montadora em realizar

uma obra seguindo alguns princípios da produção enxuta, facilitou o desenvolvimento da pesquisa. A interferência do cliente na solicitação da diminuição do número de tipos diferentes de treliças contribuiu para a organização do canteiro e também para um aumento na produtividade de montagem. Por fim, ressalta-se a importância de envolver o cliente nas decisões de planejamento a fim de buscar entregar o máximo de valor ao cliente.

## 5.6 ESTUDO EMPÍRICO 4

O empreendimento O consistiu de 17 etapas repetitivas. Retirando as etapas das duas extremidades, as demais etapas consistem em 15 etapas de montagem iguais. Esta obra possui um grande número de empresas diferentes trabalhando juntas no canteiro.

O escopo da empresa X abrangia apenas atividades relacionadas à cobertura. Havia três outras empresas envolvidas em outras etapas de execução da obra: (a) fechamento lateral pelo sistema *tilt-up* e pela execução do piso; (b) montagem dos pilares pré-moldados de concreto; e (c) drenagem.

O sistema de fechamento lateral é uma característica diferenciada desta obra. Normalmente as obras da empresa X têm fechamento lateral em telha, porém neste empreendimento as vedações verticais externas eram em painéis de concreto. As atividades de cobertura da empresa X com a execução dos painéis *tilt-up* necessitavam de sincronização, pois o travamento dos painéis é feito através das vigas montadas pela empresa X. Deste modo, os painéis só eram liberados após este travamento. O plano de execução de *tilt-up* (Figura 84) foi fornecido pelo cliente para a elaboração do modelo 4D. Este plano já indicava a preocupação em se utilizar um plano visual para facilitar o entendimento por parte dos envolvidos na obra.



Figura 84 – Plano execução *tilt-up*.

### 5.6.1 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DO CANTEIRO DE OBRA

Para realização do plano logístico do empreendimento, a primeira atividade envolvida foi a modelagem BIM 4D, a qual envolveu um esforço de duração de aproximadamente 32 horas. A Figura 85 apresenta um resumo do tempo das atividades envolvidas na modelagem BIM 4D para este estudo.

| Atividade  | Duração         |
|--|-----------------|
| Compreensão do projeto + preparação de arquivos dwg (AutoCAD 2D) para a modelagem BIM                | 3h              |
| Modelagem BIM do empreendimento no <i>ArchiCAD</i>   | 10h             |
| Modelagem dos processos (estoques, circulações)  | 5h              |
| Preparação do plano de atividades e de processos para inserção no <i>Synchro</i>                     | 6h              |
| Simulação 4D no <i>Synchro</i> , inserção dos equipamentos e associação do plano aos componentes BIM | 8h              |
| <b>TOTAL</b>   | <b>32 horas</b> |

Figura 85 – Duração das atividades do processo de modelagem do estudo 4.

As diferentes atividades das empresas envolvidas foram modeladas em BIM para inserção no *software* de simulação 4D. A linha de balanço (Figura 86) foi utilizada para definir a sequência de execução do empreendimento. Com os planos das diferentes empresas envolvidas, foi realizado plano logístico juntamente com a participação do engenheiro responsável pela obra e posteriormente com a participação do cliente para aprovação. O estudo do plano logístico foi importante para definição da sequência do plano de execução da obra e também definição da estratégia de descarregamento de materiais e área de estoque.

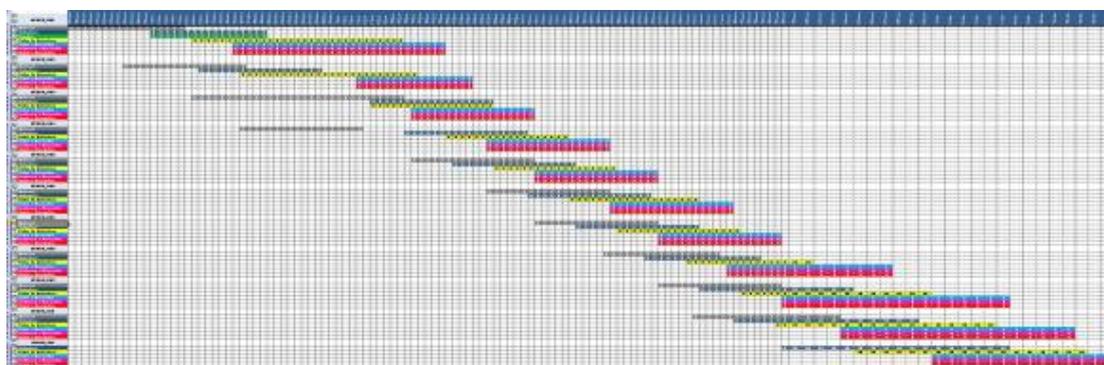


Figura 86 - Linha de balanço do empreendimento O.

Foram realizadas 2 reuniões com o engenheiro da obra, com duração de 1 hora, para discussão de dois cenários de execução do empreendimento. Como a cobertura do pavilhão é dividida

por 4 águas, na primeira alternativa de execução definiu foram definidas duas frentes de montagem, dividindo o pavilhão ao meio e executando de dentro para fora como ilustrado na Figura 87. Nesta alternativa, planejou-se a execução do empreendimento da direita para a esquerda.

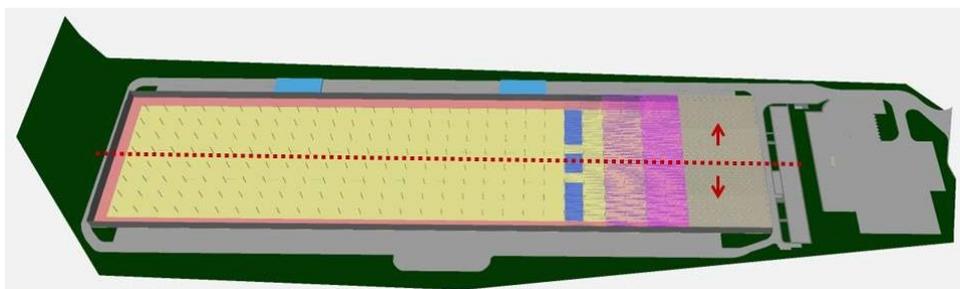


Figura 87 – Cenário 1 com duas frentes de montagem da direita para a esquerda.

A segunda alternativa de execução do empreendimento considerou uma equipe de montagem iniciando na lateral direita, e outra equipe de montagem iniciando ao mesmo tempo no meio do pavilhão (Figura 88). No entanto, a equipe planejada para iniciar a montagem no meio do pavilhão poderia executar a montagem apenas nas duas águas do meio do pavilhão, deixando as laterais para posterior execução, o que implicaria em uma junta de dilatação no telhado nestes pontos. Esta situação ocorre pois os painéis de *tiltup* precisavam travar a estrutura da cobertura.

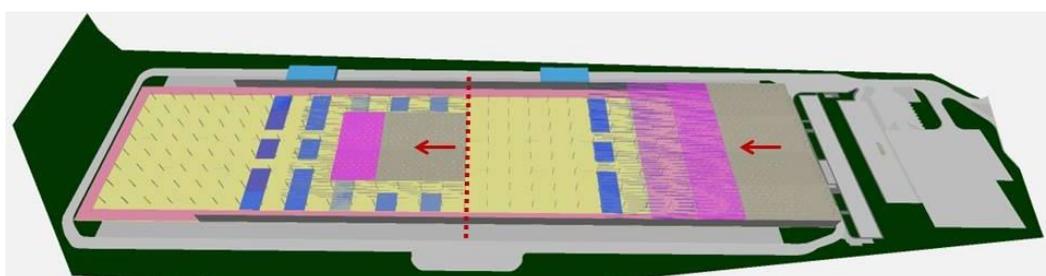


Figura 88 – Cenário 2 com duas frentes de montagem iniciando na direita e no meio do pavilhão.

A primeira alternativa foi considerada melhor tendo em vista que o pavilhão seria montado continuamente da direita para a esquerda, gerando um efeito aprendizado das etapas. Além disso, esta alternativa de montagem torna a coordenação das atividades das diferentes empresas mais fácil e também evita a execução de juntas de dilatação no telhado, um ponto crítico para entrada de água.

Após a concordância do cliente com a alternativa escolhida, foi gerado um painel com imagens capturadas da simulação. O painel da Figura 89 apresenta uma primeira imagem com

a definição do macro *layout* da obra. A definição do posicionamento dos estoques foi considerada na escolha da alternativa. Já a definição do posicionamento das instalações provisórias foi uma decisão tomada posteriormente. Os estoques de peças a serem utilizadas na fase de arremates foram posicionados em dois pontos. No primeiro momento localiza-se na extremidade direita e, posteriormente, é transportado para esquerda para facilitar a utilização destes materiais e evitar perdas por transporte.

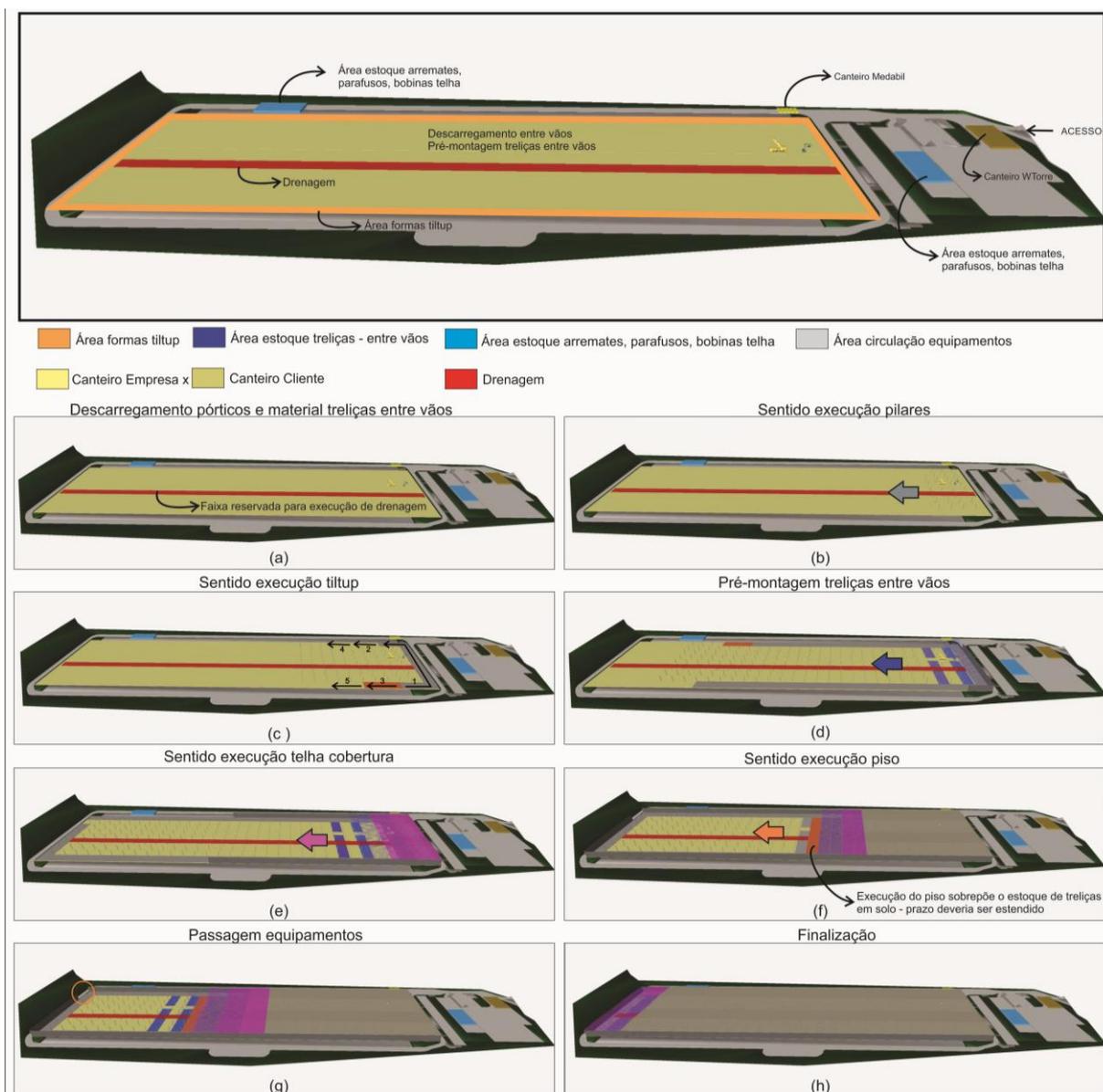


Figura 89 – Plano logístico do empreendimento.

A Figura 89 (a) apresenta a faixa de drenagem no interior do pavilhão que deve ser respeitada através da não colocação de nenhum material neste trecho. A Figura 89 (b) identifica o sentido de execução dos pilares pré-moldados de concreto. A Figura 89 (c) mostra o sentido

de execução dos painéis *tiltup*, no qual estava planejado para execução do formato U do canto direito e posteriormente intercalando cada lateral. A Figura 89 (d) ilustra o sentido da pré-montagem das treliças espaciais no solo entre vãos, respeitando um vão sim e outro não. A Figura 89 (e) identifica o sentido de execução da cobertura. A Figura 89 (f) mostra o sentido de execução do piso de concreto. A Figura 89 (g) ilustra a passagem dos equipamentos e por fim, a Figura 89 (h) a finalização da execução.

O planejamento logístico do empreendimento também contou com a identificação dos acessos à obra (Figura 90). Em um primeiro momento, o acesso à obra ocorreu na extremidade direita da obra. Em certo ponto, com o fechamento lateral pelo sistema *tiltup*, este acesso foi realocado para a extremidade oposta da obra.

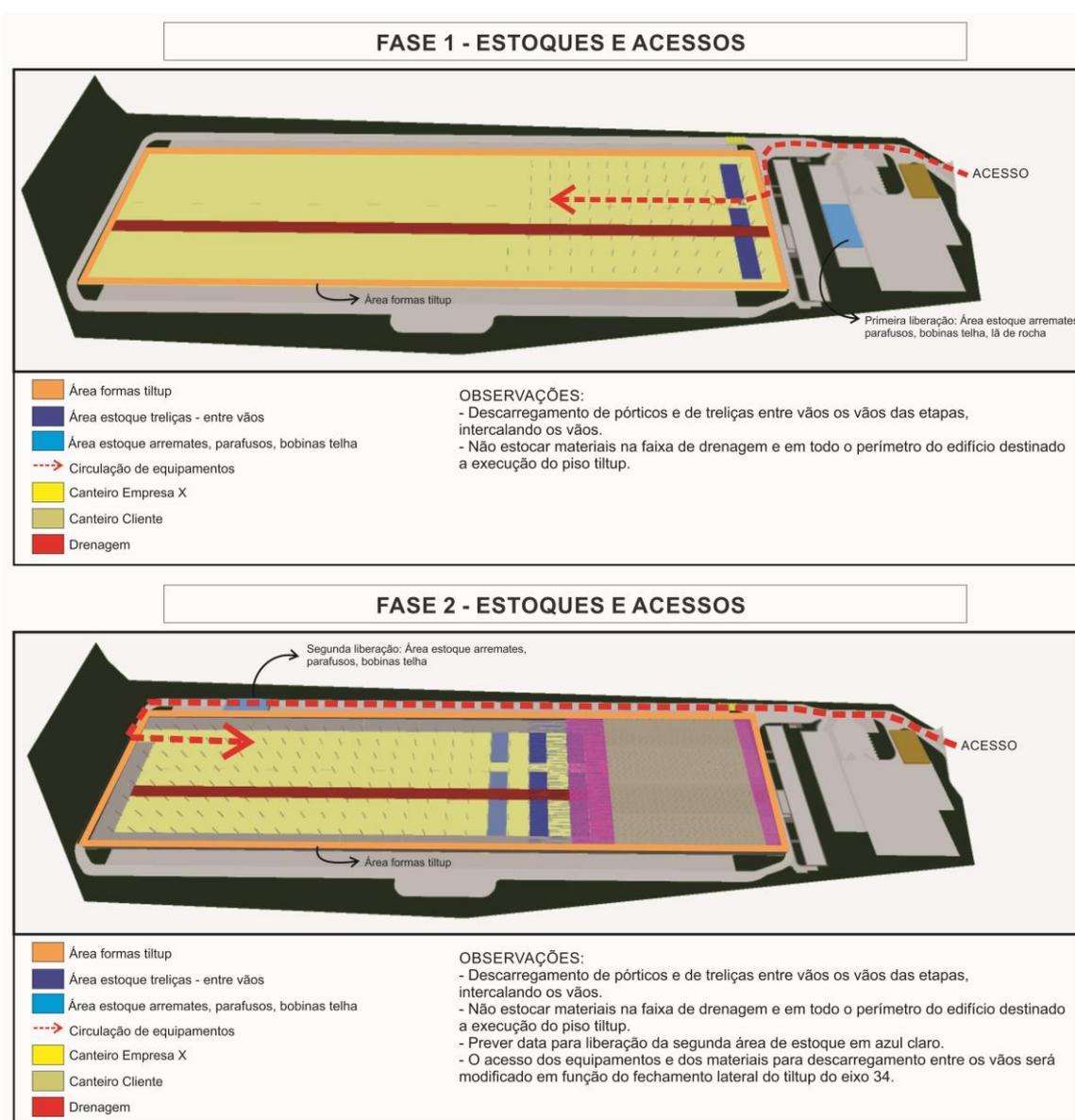


Figura 90 - Estoques e acessos.

Este empreendimento também contou com o desenvolvimento de planos de carga na fábrica da empresa, atividade realizada em parceria com outro pesquisador<sup>12</sup> do NORIE-UFRGS. Estes planos de carga adotaram a mesma premissa do estudo empírico 3, que consistiu em montar as cargas com os componentes de uma mesma etapa. Os planos de carga tinham como objetivo facilitar as operações de descarregamento e a organização dos materiais em obra.

### 5.6.2 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO DE UM PROCESSO CRÍTICO

O planejamento logístico de um processo crítico foi definido para este estudo. Considerado a importância da sincronização das atividades de execução do sistema *tiltup* com a cobertura metálica, optou-se por fazer o planejamento detalhado das operações de uma etapa da obra. A Figura 91 ilustra o micro *layout* desenvolvido para esta etapa com a organização dos materiais. Um modelo BIM foi gerado considerando o nível LOD 350. As atividades de definição dos estoques e das áreas de montagem foram analisadas na simulação 4D.

O primeiro vão entre pilares foi reservado para execução dos painéis *tiltup* no solo. No vão seguinte, entre pilares, são pré-montadas as treliças espaciais no solo. Uma passagem de equipamentos foi destinada para circulação livre neste local. Os pórticos foram planejados para descarregar no “pé” dos pilares, de forma a evitar o transporte destas peças. Portanto, ao chegar um caminhão com os pórticos, os mesmos eram descarregados no local de içamento de cada um.

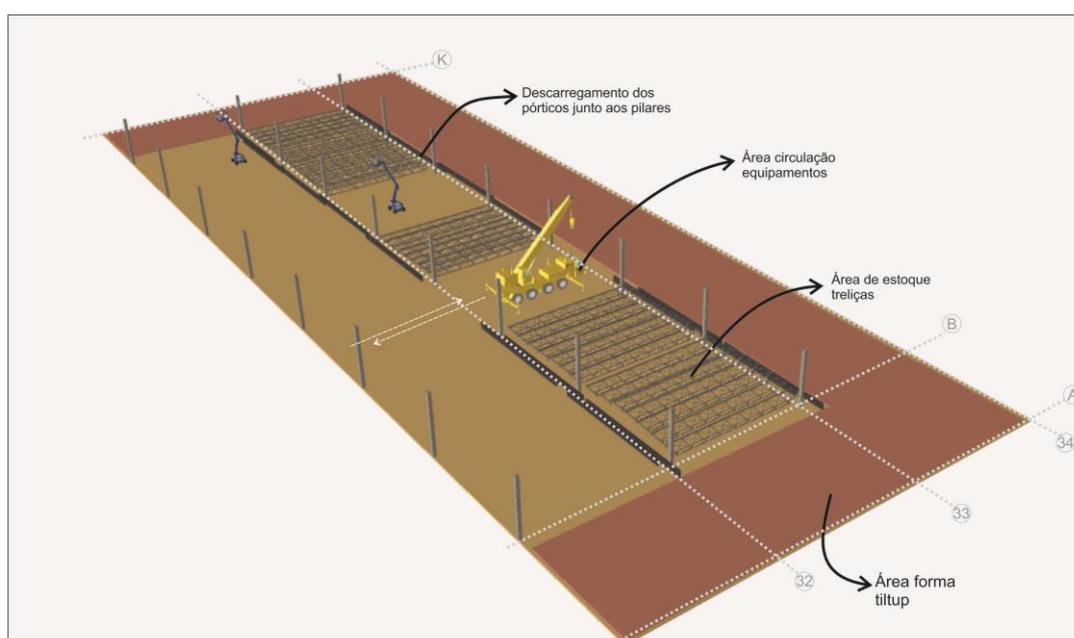


Figura 91 – Planejamento do micro *layout* de uma etapa.

<sup>12</sup> Guilherme Trevisan

A sequência de execução do sistema *tiltup* e da execução da cobertura foi planejada na simulação 4D. Essa sequência foi analisada em conjunto pelo engenheiro da obra e um representante do cliente em uma reunião realizada no escritório do cliente locado em obra com duração de 1 hora. Um painel com imagens da simulação foi montado, ilustrado na Figura 92.

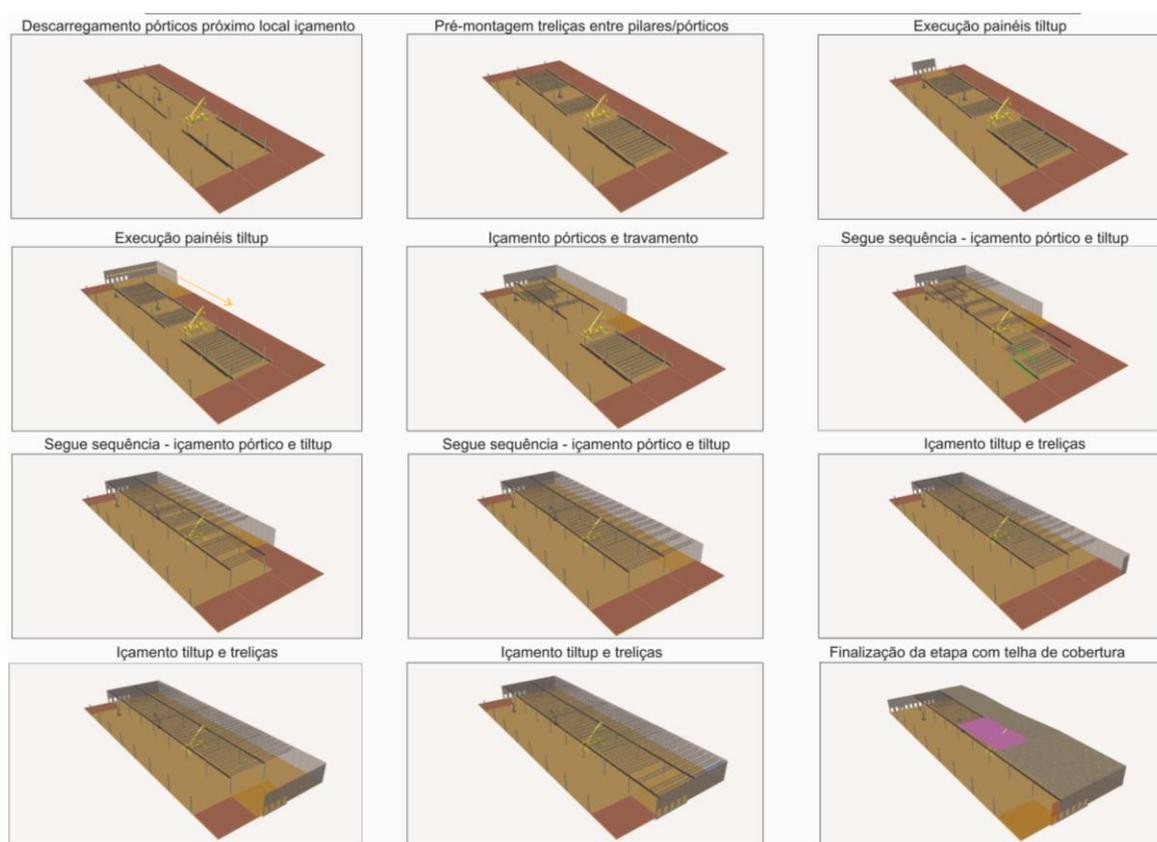


Figura 92 – Simulação de uma etapa da obra.

### 5.6.3 ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO

Para análise da implementação, foi realizada uma visita à obra para analisar a implementação do plano logístico. A partir desta visita, foram identificados desvios no plano, os quais foram discutidos em uma reunião realizada com a participação de um representante do cliente e do engenheiro da obra. Após a discussão dos desvios no plano, foram replanejadas algumas atividades. As definições do *layout* da obra não foram modificadas - apenas algumas atividades sofreram alteração no sentido de execução. Estas atividades de produção foram atualizadas no modelo 4D.

Com relação à entrega de materiais, a Figura 93 ilustra a situação de atraso na entrega. A cor vermelha identifica a situação crítica na qual falta material para a montagem. Esta situação ocorre nas etapas de estrutura secundária e primária. Além disso, outra situação identificada é com relação entrega parcial de materiais de algumas etapas que seriam executadas posteriormente. Esta situação não é favorável para o canteiro de obra, tendo em vista que este material ocupa um espaço no canteiro por um período de tempo relativamente grande, até a execução programada da etapa em questão.

| ETAPAS  | 1     | 2     | 3     | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  |
|---|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| ESTRUTURA SECUNDARIA - MEDAJOIST 20A                | MO    | FM/OK | FM/OK | MO  | MO  | FM  | MO  | FM  | FM  | FM  | FM  | FM  | EP  | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP |
| ESTRUTURA PRIMARIA - VIGA PORTICOS E ACESSÓRIOS 30A | FM    | MO/OK | MO/OK | FM  | MO  | MO  | FM  | FM  | FM  | FM  | FM  | FM  | EP  | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP |
| COBERTURA E ARREMATAS 10B                           | MO    | SMP   | SMP   | SMP | SMP | SMP | EP  | SMP | SMP | EP  | SMP |
| CALHAS E ARREMATAS 30B                              | MO    | FM    | FM    | FM  | SMP | EP  | SMP | EP  | SMP | SMP | EP  | SMP |
| LANTERNIN 40B                                       | FM    | FM    | SMP   | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP |
| ZENITAL 50B   | FM    | FM    | SMP   | SMP | SMP | SMP | SMP | SMP | EP  | EP  | SMP |
| ESCADA PULTUDRADA                                   | MO/OK |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| LINHA DE VIDA                                       | EP    |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |       |       |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

MATERIAL AINDA NÃO FOI CONFERIDO

Legenda:

- FM= FALTA DE MATERIAL
- SMP= SEM MATERIAL NO PATIO DE OBRA
- EP= ENTREGA PARCIAL DA ETAPA
- MO= MATERIAL EM OBRA
- OK= ETAPA MONTADA CONCLUIDA

Figura 93 - Controle de entrega de materiais.

O atraso na entrega de materiais da estrutura primária refletiu em um atraso na montagem desta atividade nas três primeiras etapas. Os dados de execução da atividade de montagem dos pórticos foram analisados na Figura 94, na qual a data planejada de execução dos pórticos das etapas iniciais da obra foi comparada com a data real executada. Este período analisado compreendeu a fase de recesso de final de ano da empresa, representado em cinza. As etapas 1, 2 e 3 tiveram respectivamente 2, 1 e 5 dias de atraso do início da montagem. Para recuperar este atraso, as etapas 4 e 5 iniciaram antes da data planejada, respectivamente 1 e 5 dias antes.

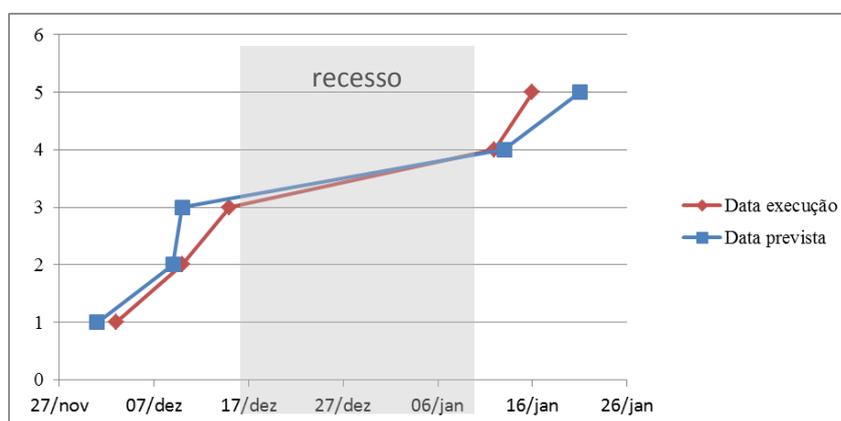


Figura 94 – Avanço físico da execução da estrutura principal.

A Figura 95 apresenta o trabalho em progresso da estrutura principal das etapas iniciais. Nesta figura, as datas de início de execução dos pórticos foram comparadas como as datas de finalização desta atividade. Desta maneira é possível visualizar o tempo em que estas etapas ficaram em execução. Este gráfico também representou o período de recesso da empresa. A etapa 2 foi concluída rapidamente, em função da disponibilidade de materiais. As demais etapas seguiram o plano previsto de execução. A etapa 1 ficou um tempo esperando para ser executada em virtude da falta de material.

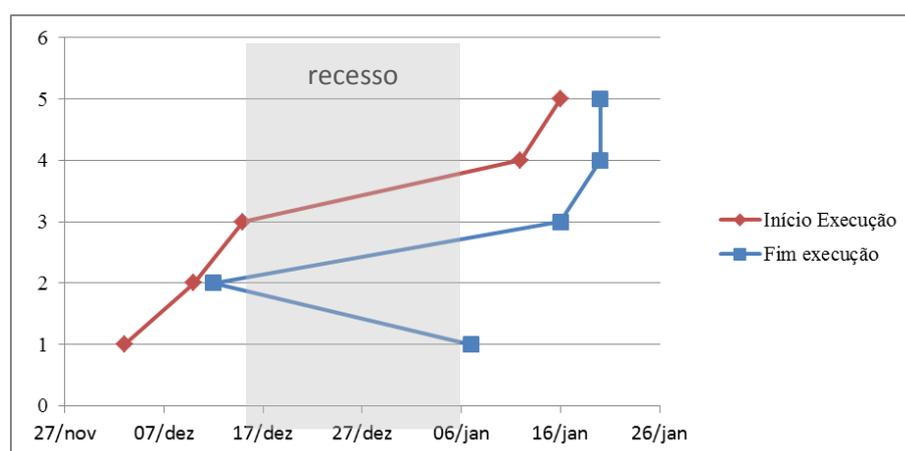


Figura 95 – Trabalho em progresso da atividade da estrutura principal.

Com relação ao descarregamento de materiais, foi identificado na observação de duas visitas feitas em obra que o local de descarregamento foi realizado entre os vãos dos pilares conforme o planejado. A Figura 96 ilustra uma situação comparativa entre o modelo planejado na modelagem 4D com a situação real executada em obra no mesmo ponto no tempo. A Figura 96 (a e b) apresenta o conjunto de treliças, a área de armazenamento de material embaixo da cobertura e a posição dos equipamentos. A Figura 96 (c e d) ilustra a disposição da organização do *layout* da obra com as instalações temporárias e os fluxos de equipamentos.

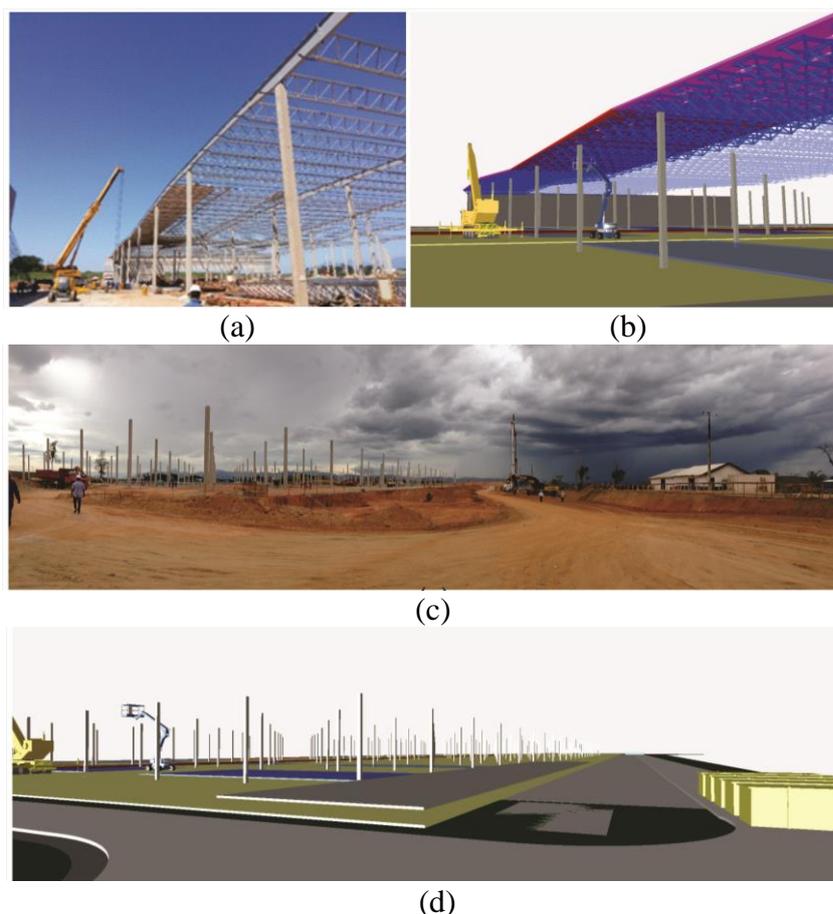


Figura 96 - Comparação da simulação com a obra real - (a) e (b) montagem das treliças; (c) e (d) organização do *layout*.

## 5.7 PROPOSIÇÃO DO MODELO

Esta seção apresenta o modelo proposto para o planejamento e controle logístico de obras em sistemas pré-fabricadas do tipo ETO, com o uso de BIM 4D. Com o objetivo de apoiar o planejamento e controle logístico, foi proposto um conjunto de indicadores para controle da produção, com ênfase na gestão logística.

O modelo é apresentado em duas figuras: (a) a Figura 97 ilustra a hierarquia do processo envolvido no planejamento logístico e a conexão com o planejamento e o controle da produção; e (b) a Figura 98 ilustra a sequência de atividades para realização do planejamento logístico nos diferentes níveis.

Considerando a Figura 97, para **planejar a logística do empreendimento**, o modelo propõe a utilização do **modelo BIM** em um nível de desenvolvimento LOD 200, cujo ponto de partida é o **plano de longo prazo da produção**. O modelo BIM deve representar as atividades da produção através da modelagem do produto do empreendimento, e dos processos envolvidos

para realização destas atividades. O modelo do produto consiste em todos os objetos que compõem a edificação, representando os componentes genericamente, com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação. O modelo do processo consiste em modelar os estoques, as vias de circulação de equipamentos e pedestres, e o acesso ao canteiro.

Com o plano de longo prazo da produção, o modelo propõe a **análise de processos que podem limitar a produção** em conjunto com a **análise de processos mais complexos ou mais custosos**, com base no conhecimento da empresa. A partir desta análise, há um ponto de decisão que define se há necessidade de planejar um ou mais processos críticos de forma mais detalhada. Se for identificado um processo crítico, então deve-se **planejar a logística deste processo**. Para realizar este planejamento, o modelo sugere a utilização de um **modelo BIM** em um nível de desenvolvimento LOD 350, usando como ponto de partida um **plano de atividades produzido no nível de médio prazo**.

O modelo BIM do processo crítico também deve conter as atividades da produção através da modelagem do produto do empreendimento, e os processos envolvidos para realização destas atividades através da modelagem de processos. Neste modelo os elementos devem ser representados detalhadamente, contendo a quantidade, o tamanho, a forma, e a orientação. O modelo do processo deve conter exatamente a quantidade de estoque através da representação de cada material como um objeto.

Os resultados do planejamento logístico do empreendimento e do planejamento logístico de processos críticos vão compor o **plano logístico da obra**. A partir do plano logístico da obra, o modelo propõe a geração de dispositivos visuais e a coleta de dados. Os **dispositivos visuais** consistem em combinações de imagens capturadas da tela dos modelos BIM 4D. No contexto desta pesquisa, foi escolhida uma imagem por semana para disponibilização nos painéis tendo em vista a rapidez de execução da obra. Propõe-se a disponibilização destes dispositivos visuais no canteiro de obra para utilização por parte de todos os envolvidos (engenheiro, montadores, cliente). A partir da coleta de dados são gerados os **indicadores logísticos**, propostos na subseção 5.7.1. Como resultado destes indicadores, propõe-se que ocorra uma revisão no plano logístico do empreendimento e dos processos críticos.

O modelo também propõe a **coleta de dados da produção** para gerar **indicadores de produção** e revisar os planos de longo e médio prazo que foram propostos para serem utilizados como dados de entrada no planejamento logístico.

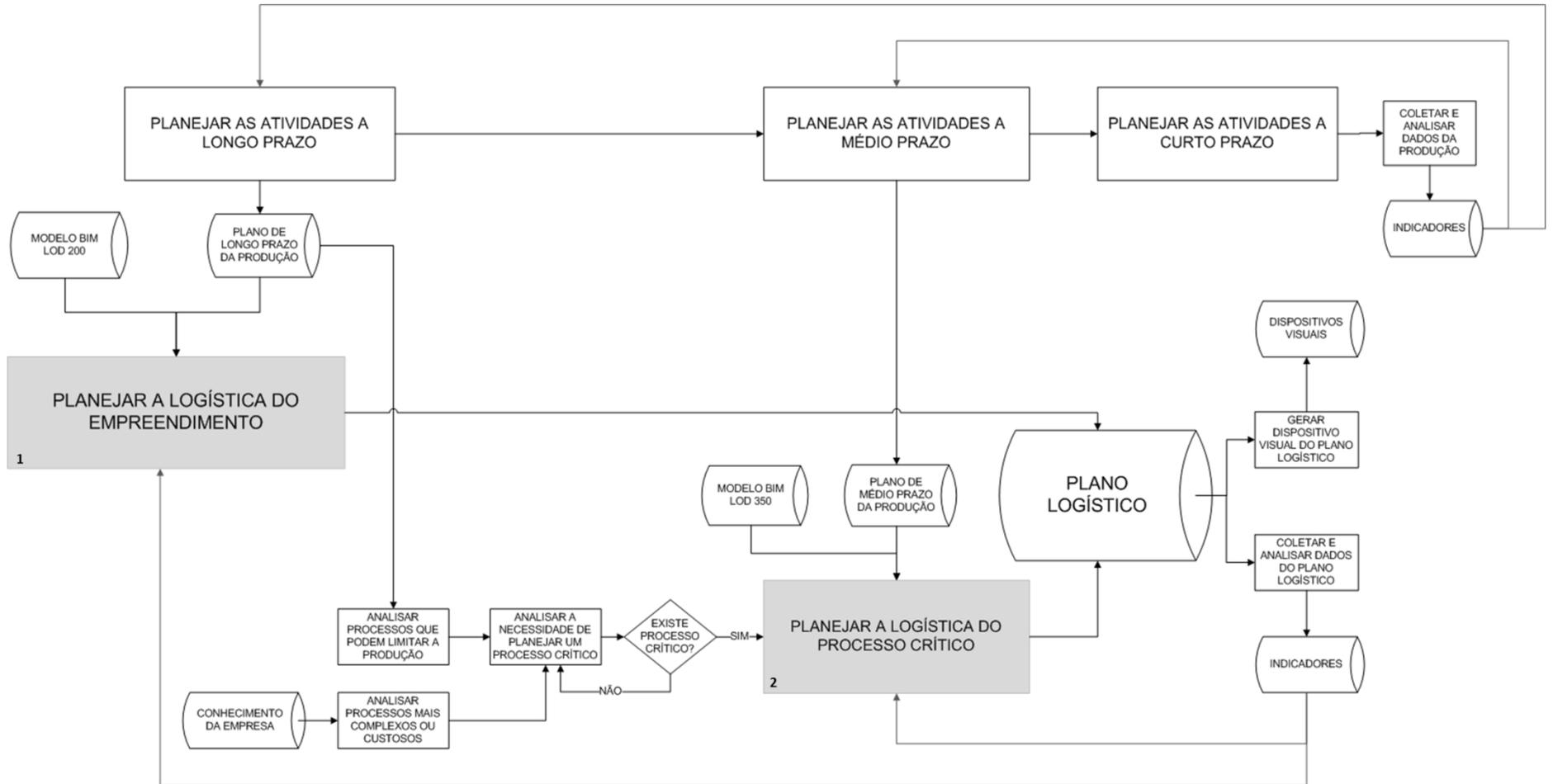


Figura 97 – Conexão do Planejamento e Controle Logístico com o Planejamento e Controle da Produção.

A Figura 98 apresenta detalhadamente as atividades envolvidas no planejamento logístico do empreendimento e dos processos críticos.

Considerando as atividades envolvidas no planejamento logístico do empreendimento (caixa cinza número 1), a primeira atividade consiste em **desenvolver o modelo 4D**. Este modelo tem como dados de entrada o modelo BIM do empreendimento anteriormente mencionado e o plano de atividades do empreendimento. Sugere-se que para desenvolvimento deste plano de atividades da produção seja utilizada a linha de balanço. A atividade que sucede o desenvolvimento do modelo 4D é **definir a estratégia de ataque** do empreendimento e **analisar conflitos existentes no plano** de atividades através da ferramenta de simulação 4D. A estratégia de ataque consiste em dividir o empreendimento em etapas e sequenciar os lotes da produção através do estudo de cenários alternativos de execução para apoiar a tomada de decisão. Este estudo vai fornecer revisões para o plano de atividades do empreendimento. A análise de conflitos consiste na identificação de interferências das atividades planejadas nos planos. Esta análise pode ser feita através de uma observação visual na simulação 4D. Porém, sugere-se a complementação desta análise através da detecção automática de conflitos utilizando ferramentas BIM específicas para este processo como o *clash detection* (detecção de interferências), tendo em vista que na observação visual pode haver falhas. O processo de detecção de interferências no BIM pode identificar interferências baseados na geometria e interferências baseadas na verificação de regras. Após a análise de conflitos, há um ponto de decisão, no qual consiste em diagnosticar se existem ainda conflitos. Se a resposta for sim, o caminho volta para definir a estratégia de ataque para resolver este conflito. Se não há mais conflitos nesta etapa, passa-se para a próxima atividade, porém, a estratégia de ataque pode ser revisada a medida que aparecer outros conflitos nas atividades subsequentes.

O modelo propõe que a partir da estratégia de ataque, seja definida a **forma de abastecimento dos materiais** no canteiro de obra. Esta definição vai gerar o desenvolvimento de **planos de carga** para os materiais. Após, o modelo propõe a **escolha dos equipamentos** necessários para realização das atividades do canteiro e paralelamente o **dimensionamento dos espaços para a realização das atividades**. A escolha dos equipamentos é feita considerando a capacidade dos equipamentos para realização das atividades. Além disso, propõe-se a inserção do tamanho real dos equipamentos no modelo 4D para verificar a disponibilidade de espaço para realização das manobras necessárias. Após a escolha dos equipamentos, o modelo propõe a **definição do acesso ao canteiro de obra**. Para realizar esta atividade, sugere-se que seja avaliada a disponibilidade de espaço para a entrada dos

equipamentos e caminhões. Com esta definição, a próxima atividade proposta é **definir as vias de veículos e de pedestres** no canteiro de obra paralelamente com a **definição do posicionamento dos estoques e das instalações provisórias**. Para definir as vias de fluxo, propõe-se que sejam estudadas alternativas que evitem o cruzamento de fluxo de pessoas e veículos visando a segurança dos envolvidos. Para a definição do posicionamento dos estoques, propõe-se a localização em áreas próximas às atividades de montagem para evitar transporte. Propõe-se também a separação dos estoques das diferentes etapas do empreendimento para evitar a mistura dos componentes. O resultado destas atividades é o **macro layout do empreendimento**.

A partir da definição da necessidade de planejar um processo crítico conforme descrito na figura anterior, o modelo propõe **planejar a logística deste processo crítico específico** (caixa cinza número 2). A primeira atividade consiste em **desenvolver o modelo 4D detalhado**. Este modelo tem como dado de entrada o modelo BIM do processo escolhido e o plano de atividades deste processo. A atividade que sucede é **estudar as atividades detalhadamente** do processo. Após, o modelo propõe a realização de três atividades em paralelo: **definir os fluxos de veículos e pedestres no processo, estudar os fluxos de trabalho e definir o posicionamento dos estoques do processo**. Para realização destas atividades deve-se evitar o cruzamento de fluxos de trabalho e veículos, e deve-se procurar localizar os estoques próximos as atividades de produção de modo que não atrapalhe o fluxo de produção, mas que também não gere muito transporte. É importante ressaltar que a simulação 4D é uma importante ferramenta na tomada de decisão dessas atividades. A realização destas atividades vai apoiar a tomada de decisão quanto a definição do **micro layout do processo crítico**.

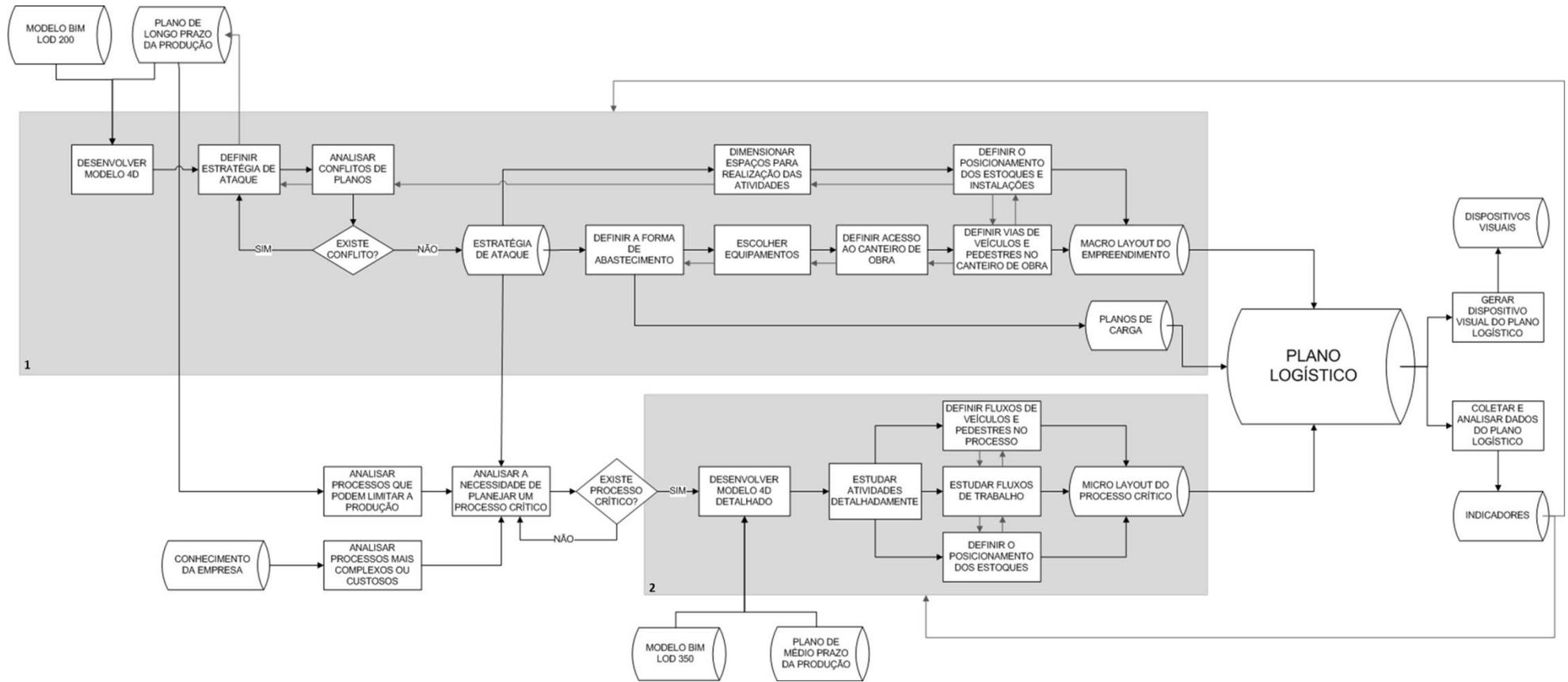


Figura 98 - Atividades do planejamento e controle logístico do empreendimento e dos processos críticos.

### 5.7.1 PROPOSIÇÃO DE INDICADORES

Os indicadores descritos nesta seção são propostos como instrumentos de apoio à tomada de decisão, podendo os mesmos serem utilizados para avaliar a eficácia do planejamento logístico das obras, a apoiar a definição de planos de ação para melhorar este desempenho, assim como identificar as oportunidades de melhorias no planejamento de obras futuras. Trata-se de uma proposta de indicadores que podem ser usados de forma alternativa dependendo do contexto.

Os primeiros indicadores apresentados referem-se a processos que ocorrem anteriormente à logística do canteiro de obra, ou seja, que se relacionam com o projeto, fabricação e logística da fábrica. Este controle é proposto, pois estes processos influenciam no desempenho do canteiro de obra. São eles:

(a) **Porcentagem de aderência ao lote de entrega:** o objetivo desta medida é avaliar a aderência de entrega dos lotes de materiais. Para esta medida propõe-se que sejam feitas medições de todos os romaneios de entrega no canteiro de obra. Este indicador é calculado pela Equação (5.1).

$$\text{Porcentagem de aderência ao lote de entrega} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de romaneios com mistura de materiais de etapas diferentes}}{\text{n}^\circ \text{ total de romaneios observados}} \quad (5.1)$$

À medida que as cargas (lotes de entrega) possuem componentes de diferentes etapas, os descarregamentos dos mesmos tende a envolver um maior esforço, podendo comprometer a organização do canteiro de obra.

(b) **Porcentagem de aderência à data de entrega:** o objetivo desta medida é avaliar a aderência à data de entrega dos lotes, pois a não aderência a estas datas pode causar atrasos nas atividades de montagem e ou excesso de estoques nas obras. Para esta medida propõe-se que sejam feitas medições de todas as entregas. Este indicador é calculado pela Equação (5.2).

$$\text{Porcentagem de aderência à data de entrega} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de entregas fora do planejado}}{\text{n}^\circ \text{ total de entregas observadas}} \quad (5.2)$$

Este indicador afeta o desempenho do planejamento logístico da obra, pois à medida que os materiais apresentarem uma demora na entrega, os locais planejados para o descarregamento destes materiais poderiam ser utilizados para realização de outra atividade.

A partir do resultado dos dois indicadores acima, propõe-se que sejam feitas alterações no plano logístico, de forma a reduzir o impacto negativo dos problemas na entrega de lotes de componentes. Os próximos indicadores propostos são para avaliar o planejamento logístico do canteiro de obra. São eles:

(c) **Porcentagem de aderência ao trajeto de caminhões:** o objetivo desta medida é avaliar o desempenho do plano logístico com relação à aderência do trajeto planejado para a circulação dos caminhões no canteiro de obra. Para essa medida propõe-se que sejam feitas observações aleatórias no decorrer de um mês da obra. Este indicador é calculado pela Equação (5.3).

$$\text{Porcentagem de aderência ao fluxo de caminhões} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de caminhões que percorreram o trajeto correto}}{\text{n}^\circ \text{ total de caminhões observados}} \quad (5.3)$$

Para realização desta avaliação propõe-se a utilização do plano do *layout* impresso nas observações. Sugere-se marcar na planta as situações nas quais possam ocorrer desvios de fluxo, com a identificação dos motivos dos desvios. Os motivos devem ser avaliados para consideração no replanejamento do plano logístico se for preciso, ou no treinamento dos responsáveis com relação aos trajetos que devem ser percorridos.

(d) **Porcentagem de aderência ao local de descarregamento:** o objetivo desta medida é avaliar as operações de descarregamento dos componentes em relação à localização. Para essa medida propõe-se que sejam feitas medições diárias dos descarregamentos. Este indicador é calculado pela Equação (5.4).

$$\text{Porcentagem de aderência ao descarregamento} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de descarregamentos no local correto}}{\text{n}^\circ \text{ total de descarregamentos observados}} \quad (5.4)$$

Para realização desta avaliação propõe-se a utilização do plano do *layout* nas observações. Sugere-se marcar no plano as situações nas quais possam ocorrer desvios em relação ao local de descarregamento. A partir do resultado de aderência, propõe-se que o plano logístico proposto seja avaliado, considerando os motivos dos desvios para consideração no replanejamento do plano se for preciso, ou no treinamento dos responsáveis quanto aos locais de descarregamento que devem ser seguidos.

(e) **Porcentagem de não conformidades no descarregamento:** o objetivo desta medida é avaliar o desempenho logístico com relação às operações de descarregamento dos materiais através da identificação de incidentes e de *making-do*, ou seja, atividades que

iniciaram sem ter todas as condições iniciais prontas e, diante disso, foi realizada alguma improvisação. Para essa medida propõe-se que sejam feitas medições diárias dos descarregamentos. Este indicador é calculado pela Equação (5.5).

$$\text{Porcentagem de não conformidades no descarregamento} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de descarregamentos com não conformidade}}{\text{n}^{\circ} \text{ de descarregamentos observados}} \quad (5.5)$$

O monitoramento desse indicador é preventivo. A partir do resultado da porcentagem das não conformidades, propõe-se que operação de descarregamento seja avaliada, considerando os incidentes envolvidos para treinar os responsáveis e prevenir a ocorrência de acidentes.

O próximo indicador sugerido para avaliar o plano logístico de canteiro de obra já existe:

(f) **Tempo médio de giro de estoque:** o objetivo desta medida é monitorar o tempo que os materiais ficaram estocados no canteiro de obra (BERTAGLIA, 2006), pois tais estoques trazem uma série de problemas, tais como o custo no espaço ocupado e os riscos de deterioração. O espaço ocupado por estoque também pode dificultar a realização de outras atividades no canteiro de obra. Para esta medida deve-se definir o período a ser avaliado, podendo este ter como unidade de medida semanas ou meses. Este indicador é calculado pela Equação (5.6).

$$\text{Tempo médio de giro de estoque} = \frac{\text{período}}{\text{quantidade de peças consumidas no período} + \text{estoque médio no período}} \quad (5.6)$$

Propõe-se que seja avaliado o número de dias do tempo que o estoque ficou no canteiro para tomar decisões quanto à estratégia da empresa de fabricação e entrega de materiais.

Os indicadores propostos podem afetar as atividades da produção. A falta de aderência ao lote de entrega pode afetar a produção em função da organização dos materiais no canteiro de obra. A falta de aderência à data de entrega significa que os atrasos na entrega dos materiais podem afetar as datas planejadas de produção. A falta de aderência ao local de descarregamento pode implicar na desorganização do canteiro de obra com relação aos materiais e isso pode afetar a produção. A alta porcentagem de incidentes pode implicar em um acidente de danificação de material, ocasionando um atraso na montagem até a fabricação e entrega deste material novamente. O tempo alto de estoque no canteiro pode afetar a

produção pelo espaço que o estoque ocupa no canteiro impossibilitando a execução de outras atividades. Sugere-se que, dado o desempenho dos indicadores logísticos apresentados, os indicadores de produção apresentarão um desempenho melhor. Os indicadores de produção propostos para medição já existem. São eles:

(g) **Desvio de prazo:** o objetivo desta medida é avaliar o atraso da obra, por meio do desvio de prazo das atividades e, com isso, avaliar a eficácia do planejamento da produção (COSTA *et al.*, 2005). Para esta medição propõe-se que sejam feitas medições de todas as atividades de montagem. Este indicador é calculado pela Equação (5.7).

$$\text{Desvio de prazo} = \frac{\text{Prazo real} - \text{prazo previsto}}{\text{prazo previsto}} \quad (5.7)$$

A partir do resultado do desvio de prazo, propõe-se que medidas sejam avaliadas no plano da produção.

(h) **Porcentagem de aderência ao lote planejado:** o objetivo desta medida é monitorar o número de lotes de atividades de montagem que foram concluídos na data planejada (BULHÕES, 2009). Para esta medida propõe-se que sejam feito o controle dos lotes de todas as atividades de montagem. Este indicador é calculado pela Equação (5.8).

$$\text{Porcentagem de aderência ao lote planejado} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de lotes atendidos}}{\text{n}^\circ \text{ de lotes planejados}} \quad (5.8)$$

A partir do resultado deste indicador, pode-se avaliar se este for alto, significa que a atividade que a sucede não pode ser liberada para execução. Diante disso, propõe-se que seja reavaliado o plano da produção.

## 5.8 ANÁLISE DO MODELO DESENVOLVIDO

A seguir é realizada uma análise do modelo desenvolvido com base nos subconstructos identificados (ver seção 4.5). A partir de múltiplas fontes de evidência utilizadas na pesquisa, os principais impactos do modelo proposto são apresentados.

### 5.8.1 CONSTRUCTO UTILIDADE

#### 5.8.1.1 Estímulo ao processo colaborativo do planejamento logístico

O processo colaborativo para realização do planejamento e controle logístico foi estimulado pelo modelo desenvolvido. Esse estímulo foi percebido a partir das reuniões de planejamento

logístico com os envolvidos dos 4 estudos desenvolvidos. Houve um aumento na comunicação e participação dos envolvidos na tomada de decisão através das discussões geradas a partir da utilização de diferentes ferramentas de visualização (linha de balanço, modelo 4D, dispositivos visuais). Os modelos 4D auxiliaram no entendimento dos planos discutidos nas reuniões pois mostrava de forma visual as decisões tomadas. Através dos modelos, os participantes conseguiram criar um entendimento comum a todos a cerca do planejamento da obra. A utilização dos modelos 4D mostrou de uma forma concreta as decisões de planejamento logístico discutidas, esclareceu dúvidas e apontou possíveis conflitos provenientes das decisões tomadas. Além disso, houve uma considerável colaboração dos engenheiros, coordenadores e clientes das obras estudadas, o que contribuiu para o processo colaborativo do planejamento logístico. Esta colaboração foi disponibilizada tendo em vista os resultados positivos da aplicação dos passos do modelo proposto, percebida por estes colaboradores.

#### 5.8.1.2 Redução da necessidade de planejamento de curto prazo

Este subconstructo foi identificado em função das percepções observadas na realização dos estudos desta pesquisa e através da avaliação da implementação do plano logístico. O plano logístico do empreendimento utilizou o plano de atividades da produção de longo prazo. Já o plano logístico de um processo crítico utilizou o plano de atividades da produção de médio prazo. Através da realização do plano logístico com estes dois níveis de planejamento, observou-se uma diminuição da necessidade do plano da produção no curto prazo. Este fato se deve ao fato de que, no contexto de montagem de estruturas metálicas pré-fabricadas, a grande maioria das operações pode ser considerada como atividade de logística. O grande volume de operações é de fluxo de materiais, envolvendo o descarregamento dos materiais e a movimentação para o local de içamento.

#### 5.8.1.3 Transparência e disponibilidade de informações

O uso de dispositivos visuais para divulgação do plano logístico aumentou a disponibilidade das informações no canteiro de obra. O plano logístico não se restringiu a permanecer na tela do computador, pois foi proposto o uso de painéis contendo as imagens das simulações 4D. Através de observações diretas, da percepção da pesquisadora e de entrevistas informais, percebeu-se que estes dispositivos colaboraram para deixar o processo de planejamento e controle logístico da obra mais transparente. Engenheiros, montadores e cliente se beneficiaram destes dispositivos, o que contribuiu para o alinhamento das estratégias e o

entendimento da mesma proposta pelos diferentes envolvidos. Os painéis eram utilizados principalmente quando algum interveniente demandava ao engenheiro da obra alguma informação sobre o plano logístico.

#### 5.8.1.4 Possibilidade de análise de planos alternativos de execução

Pode-se concluir que o modelo proposto considera a análise de planos alternativos de execução aumentando a tomada de decisão com relação ao projeto do sistema de produção e do plano logístico. A análise de planos alternativos de execução das obras estudadas foi possibilitada através da geração de cenários utilizando a ferramenta de simulação 4D. Com base nestes cenários realizados, houve um maior número de informações disponíveis para a tomada de decisão. Com as informações disponíveis, todas as possibilidades identificadas pelos envolvidos na obra eram testados e avaliados para se chegar à melhor definição de solução. Este subconstructo foi evidenciado através da solicitação de novos cenários de execução nos estudos 1, 3 e 4 por parte dos envolvidos nas reuniões de planejamento (coordenadores e engenheiros das obras). Os três estudos tiveram a solicitação de pelo menos 2 cenários alternativos de execução.

### 5.8.2 CONSTRUCTO FACILIDADE DE USO

#### 5.8.2.1 Contribuição para a comunicação e entendimento das decisões entre os participantes

O modelo proposto sugeriu a utilização de ferramenta da tecnologia da informação, o BIM e a simulação 4D. Tendo em vista a grande utilização destas ferramentas nas reuniões de planejamento evidenciadas pela observação participante, considera-se que as mesmas contribuíram para a comunicação e entendimento das decisões tomadas entre os participantes. Os participantes das definições de planejamento (coordenadores e engenheiros de obra) conseguiam entender os modelos BIM 4D com facilidade e diante disso, obtiveram as informações desejadas. Os dispositivos visuais também estão relacionados com a contribuição na comunicação. Através destes dispositivos, os clientes dos estudos empíricos 1 e 2 tiveram uma compreensão dos processos envolvidos na entrega do produto, podendo tomar sugestões para melhoria do processo.

#### 5.8.2.2 Participação das pessoas no processo de modelagem BIM 4D

Outro subconstructo analisado quanto a facilidade de uso foi a grande participação das pessoas envolvidas nas obras estudadas no processo de modelagem BIM 4D. Estes envolvidos

foram o coordenador e o engenheiro das obras dos 4 estudos desenvolvidos. Esta participação foi evidenciada através da ocorrência de solicitações de alterações dos modelos e também no detalhamento do modelo durante a elaboração do plano logístico. A participação dos engenheiros das obras no processo de modelagem foi fundamental tendo em vista o conhecimento dos mesmos com relação ao planejamento das atividades de produção e de logística.

### 5.8.2.3 Possibilidade de continuação do processo após o estudo

A facilidade de uso foi evidenciada pelo interesse dos participantes da empresa em dar continuidade ao uso das ferramentas propostas pelo modelo em empreendimentos futuros. Este subconstructo foi evidenciado através de observações diretas e entrevistas abertas com os participantes dos estudos (coordenadores e engenheiros das obras). Após a finalização desta pesquisa houve o interesse dos participantes da empresa em dar continuidade e passar a incorporar no processo da empresa o planejamento logístico de empreendimentos futuros.

### 5.8.2.4 Esforço envolvido na modelagem BIM 4D

Com relação ao esforço envolvido na modelagem BIM 4D, analisou-se que não houve uma diminuição dos tempos de modelagem do empreendimento (Figura 99 - a), pois os mesmos apresentavam dimensões diferentes. Porém, considerando o tempo de modelagem de um mesmo quadrante dos estudos que tiveram a mesma solução estrutural (estudos 2, 3 e 4), ou seja, os mesmos elementos construtivos, observou-se a diminuição deste tempo de modelagem (Figura 99 - b), tornando o método proposto mais fácil de ser utilizado. Esta diminuição ocorreu devido a modelagem de uma biblioteca BIM com os principais elementos dos empreendimentos. Essa biblioteca facilitou a modelagem pois os elementos eram replicados com facilidade.

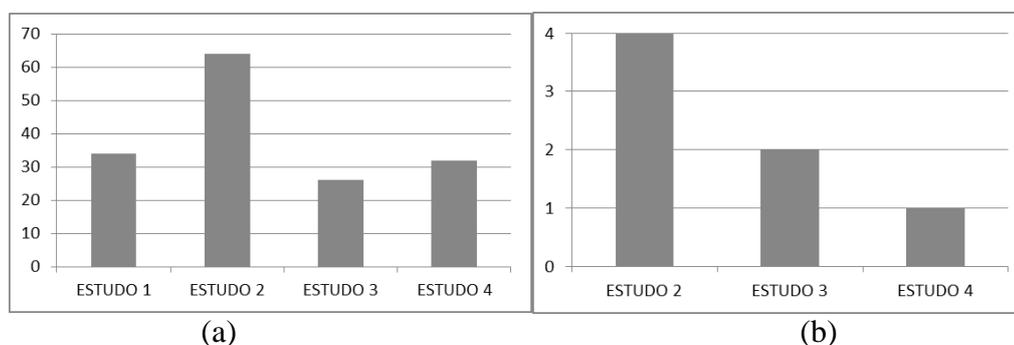


Figura 99 - Esforço envolvido na modelagem BIM 4D - (a) número de obras de modelagem dos 4 empreendimentos, (b) número de horas de modelagem considerando um mesmo quadrante.

## 6 CONCLUSÕES

### 6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Os problemas relacionados com má utilização do espaço físico dos canteiros de obras e a necessidade de um planejamento e controle logístico para facilitar as atividades de produção motivaram a realização desta investigação. Foram desenvolvidos quatro estudos empíricos em uma mesma empresa, especializada em sistemas construtivos metálicos. As principais conclusões destes estudos estão sintetizadas a seguir.

O estudo exploratório 1 evidenciou a necessidade de organização do material de montagem desde a fábrica, pois as peças para montagem eram misturadas e isso comprometeu a organização do canteiro de obras. A perda de tempo identificando as peças acabou comprometendo a produtividade da montagem. Como forma de solucionar este problema de mistura de peças, uma ação foi feita para o estudo empírico 1 na logística da fábrica. Foram montados planos de cargas para os carregamentos de materiais e foram confeccionadas etiquetas para identificação das peças nas etapas da obra.

O estudo exploratório 2 evidenciou a necessidade de simular não só as atividades da empresa estudada, mas também as atividades de outras empresas que trabalham no canteiro. Através da utilização de planos de atividades de outras empresas, foi possível identificar previamente os conflitos no canteiro.

O estudo empírico 3 evidenciou que o interesse por parte do cliente e do engenheiro responsável pela obra foi um fator determinante para a implementação das ferramentas propostas por este trabalho. Nos estudos empíricos, o cliente e o engenheiro se engajaram com os benefícios que as ferramentas de BIM e de simulação 4D poderiam trazer para o planejamento e controle do canteiro, e diante disso contribuíram para a implementação do trabalho. O estudo empírico 3 também contribuiu para o estudo de produtividade de um processo crítico da obra para atender a alimentação do fluxo de trabalho. Este estudo evidenciou uma grande contribuição da ferramenta de simulação 4D para estudos de processos críticos. Através da simulação foi possível analisar em detalhe os tempos de cada processo envolvido e com isso aumentar a produtividade de montagem, diminuindo os estoques e o trabalho em progresso e buscando um fluxo contínuo de produção.

O estudo empírico 4 evidenciou a importância de sincronizar as atividades de diferentes empresas no canteiro de obra. As ferramentas propostas foram utilizadas no desenvolvimento dos planos de macro e micro *layout* de um processo crítico. O envolvimento do cliente neste estudo também foi considerado importante pelas contribuições para o planejamento logístico.

Esta pesquisa teve como principal objetivo propor um modelo para o planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo ETO utilizando a simulação BIM 4D. O modelo de planejamento e controle logístico proposto representa uma contribuição pelo fato de que esta é uma atividade gerencial pouco explorada no setor da construção, e também se refere a um tema pouco explorado na literatura. Este modelo propõe um planejamento hierárquico das operações logísticas da obra, definindo uma sequência de atividades e um conjunto de ferramentas.

A pesquisa contribuiu para tornar sistemático o processo do planejamento logístico de canteiros de obras, tomando como base algumas diretrizes de pesquisas existentes. Assim como no trabalho de Olearczyk *et al.* (2014), esta pesquisa investigou a utilização de modelos 4D para analisar a trajetória da circulação veículos em canteiros de obras. Da mesma maneira, a investigação dos modelos 4D analisou possíveis conflitos de espaço-tempo, como no trabalho de Akinci, Fischer e Kunz (2002). Porém, diferentemente dos trabalhos anteriores que investigaram conflitos de espaços de trabalho e equipamentos em zonas de risco, esta pesquisa investigou os possíveis conflitos no canteiro de obras com relação à definição do posicionamento dos estoques e dos equipamentos.

A presente pesquisa não se aprofundou em análises de conflitos de segurança como no trabalho de Dawood e Mallasi (2006), devido à limitação do escopo desta pesquisa. Porém, este trabalho abordou algumas questões de segurança ao planejar caminhos específicos para pedestres e equipamentos, evitando o cruzamento de fluxos entre ambos. Assim como no trabalho de Wang *et al.* (2014), o presente trabalho também investigou a modelagem de operações da construção, o que neste trabalho se denominou de operações críticas. De forma similar ao trabalho de Biotto (2012), o trabalho sugere a associação de outras ferramentas com os modelos 4D para a melhoria no processo de planejamento, sendo utilizada a linha de balanço para apoiar na definição dos fluxos de trabalho das equipes.

Com relação à hierarquização do planejamento do canteiro de obra, assim como na pesquisa de Saurin (1997), procurou-se delimitar os processos envolvidos no planejamento de macro *layout* e de micro *layout*. Adicionalmente à pesquisa de Saurin (1997), procurou-se neste

trabalho relacionar algumas das atividades do projeto do sistema de produção, através da análise da estratégia de execução do empreendimento, estudos dos fluxos de trabalho e análise de operações críticas. Além disso, assim como no trabalho de Alves (2000), que buscou relacionar a gestão de fluxos físicos com o planejamento e controle da produção, o modelo proposto neste trabalho busca relacionar o planejamento e controle logístico com o planejamento e controle da produção, relacionando o longo e o médio prazo com os planos de *layout*. A fase de controle do plano logístico não foi tão aprofundada neste trabalho tendo em vista a localização distante das obras, a qual não permitia um controle semanal por parte da pesquisadora. As observações realizadas nos estudos contribuíram para a proposição dos indicadores para avaliar a eficácia do planejamento logístico das obras e apoiar a definição de planos de ação para melhorar este desempenho.

O trabalho contribuiu na tomada de decisão quanto ao nível de riqueza de detalhes dos modelos BIM necessários para os objetivos propostos. Considerando o primeiro nível de planejamento, propôs-se que o planejamento de macro *layout* do canteiro possa ser feito, em um nível de longo prazo, em um nível similar ao LOD 200. Portanto, os componentes são modelados como objetos representados genericamente, com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximadas. Já no nível de planejamento de um processo crítico, ou seja, no micro *layout*, relacionado ao planejamento de médio prazo, propôs-se a utilização de um nível de detalhe similar ao LOD 350, o qual define com precisão a quantidade, tamanho, forma, localização e orientação dos elementos. Neste sentido, a pesquisa contribuiu por recomendar a utilização destes níveis evitando a perda de tempo por parte dos modeladores BIM em detalhes que não são importantes para os devidos objetivos dos modelos.

A pesquisa enfatizou a importância da participação do cliente dos empreendimentos para a implementação de algumas melhorias propostas. No estudo empírico 3, o cliente fez uma solicitação de mudança no produto, visando a uma obra mais racionalizada em termos de montagem. O cliente solicitou uma padronização dos componentes das treliças em vista da melhoria do desempenho das atividades de pré-montagem. A necessidade de entrega rápida criou não só valor para o cliente, mas também contribuiu para equilibrar a produção por parte montadores, pois havia um número menor de componentes diferentes a serem montados. No estudo empírico 4, o cliente se envolveu na discussão da estratégia de ataque das diferentes empresas que trabalhavam no canteiro para obter uma melhor produtividade de montagem, e forma a reduzir o prazo de entrega do produto.

Do ponto de vista prático, a pesquisa contribuiu não só para a empresa participante dos estudos, mas também pode vir a contribuir para a aplicação do modelo de planejamento e controle logístico proposto para outros contextos, caso haja algumas adaptações. Por exemplo, no caso da aplicação do modelo proposto no contexto de estruturas pré-moldadas de concreto, provavelmente não se aplicaria todos os elementos do processo proposto, tendo em vista que a montagem de pré-moldados envolve normalmente um menor número de componentes. Além disso, em geral, as estruturas de pré-moldadas de concreto não são estocadas em obra, sendo seu içamento realizado no mesmo dia da entrega dos componentes no canteiro.

A pesquisa trouxe contribuições práticas também no sentido de facilitar trabalhos futuros e no aprofundamento do desenvolvimento desta pesquisa. A empresa estudada não utilizava tecnologia BIM para modelagem dos empreendimentos do tipo pavilhão industrial. Tendo em vista esta situação, a pesquisadora modelou os componentes principais dos pavilhões industriais e configurou uma biblioteca BIM para facilitar a modelagem dos empreendimentos. Esta biblioteca de componentes pode ser utilizada para o desenvolvimento rápido de modelos BIM em futuros empreendimentos.

O trabalho trouxe recomendações para a modelagem BIM de como representar o processo construtivo. Para representar o processo construtivo nos modelos BIM e avaliar seu planejamento nos modelos 4D, sugeriu-se modelar a representação do volume que os estoques ocupam no canteiro. Esta representação pode ser feita de forma esquemática através de retângulos no plano de macro *layout*, e peça por peça no plano de micro *layout*. Esta diferenciação foi feita, tendo em vista que no plano de macro *layout* são tomadas as decisões mais estratégicas da obra. Dessa maneira, no plano de macro *layout* dos estudos desenvolvidos, a representação dos *skids* dos materiais foi inserida nos modelos BIM, e os estoques de cada etapa foram identificados por cores. Já no plano de micro *layout*, foram identificados os estoques através da alocação dos objetos no solo. Para representação dos caminhos de fluxo de pedestre e equipamentos, sugere-se a modelagem destas vias, com a criação de elementos nos modelos BIM identificados por cores diferentes. Para a análise do fluxo dos equipamentos sugere-se a inserção de animações dos mesmos nos modelos 4D.

Para a empresa analisada, este estudo ressaltou a necessidade da empresa estar mais interligada e trabalhar para um objetivo comum entre os setores que a compõem. A ligação dos setores de engenharia, da fábrica e da montagem é extremamente importante, pois, a partir do momento que essa interligação for feita, a organização do canteiro de obra se tornará uma

atividade automática. As decisões de fabricação tomadas na fábrica influenciam muito os setores de logística e o próprio canteiro de obra. A produção das peças fora de sequência de montagem, afeta a logística com a criação de um estoque grande de peças. Além disso, o canteiro de obra é prejudicado com a desorganização dos materiais e os possíveis atrasos que este sistema pode gerar. Esta identificação foi importante para planejar futuras ações a serem realizadas na fábrica da empresa, sendo que este estudo indicou a importância de elaborar planos de carga de forma sistemática. Sugere-se a adoção dos planos de cargas como um padrão a ser adotado no carregamento de componentes pré-fabricados.

Com relação aos objetivos específicos, o primeiro proposto foi “propor formas de gerar dispositivos visuais eficazes no canteiro de obra a partir do uso de modelos BIM 4D”. Os estudos exploratórios identificaram a oportunidade de explorar a transparência do planejamento no canteiro de obra. A partir disso, as ferramentas BIM e simulação 4D associada a uma gestão visual em obra serviram de base para toda a implementação do plano logístico da obra, permitindo um aumento da transparência e na disponibilização das informações para os diversos envolvidos no canteiro de obra. Para os dispositivos serem eficazes, sugere-se a captura de imagens da simulação 4D que ilustrem o andamento da obra. Sugere-se que a quantidade de imagens a serem selecionadas seja ao menos uma de cada semana, para acompanhar o andamento da obra. O dispositivo deve conter a situação dos estoques no canteiro com o passar do tempo, a identificação das vias de acesso ao canteiro, a localização das instalações provisórias (escritório engenheiro, montador e cliente), a identificação das vias de pedestres e o sentido de execução do empreendimento. Sugere-se a adoção de cores para representar as etapas de execução do empreendimento e, com a mesma cor, representar os estoques da referida etapa. Além disso, sugere-se a adoção de cores para o dispositivo ficar o mais didático possível, e servir de acesso tanto para os montadores quando para o engenheiro e cliente.

O segundo objetivo específico consistiu em “propor indicadores para o planejamento e controle logístico em obras de sistemas pré-fabricados”. De uma forma geral, as observações realizadas nos estudos contribuíram para o desenvolvimento de indicadores para controlar o desempenho do plano logístico e identificar as oportunidades de melhorias no planejamento de obras futuras.

O terceiro objetivo específico consistiu em “propor diretrizes para a integração entre o planejamento e controle da produção e da logística do canteiro de obra”. Os estudos empíricos

1 e 2 evidenciaram que o planejamento logístico e o planejamento da produção devem ser feitos juntos. A utilização de um plano de longo e médio prazo para identificação de restrições para o planejamento do *layout* da obra foi de extrema importância. Desta forma, identificou-se uma diminuição na necessidade de planejar o curto prazo, tendo em vista que no contexto estudado de obras de pré-fabricados, os processos logísticos compõem a maioria das atividades e afetam diretamente a produtividade de montagem. As posições dos estoques próximos à área de montagem evitando a perda por transporte configuraram um dos principais potenciais do planejamento logístico estar ligado com o planejamento da produção. Além disso, as questões de planejamento de fluxo de equipamentos também contribuíram para o fluxo da produção.

Por fim, conclui-se que o envolvimento das pessoas que executam as operações logísticas na obra contribuiu para o desenvolvimento do modelo. A participação dos coordenadores e engenheiros das obras estudadas enriqueceu as discussões que a pesquisa trouxe ao longo dos estudos desenvolvidos. Ainda, a participação destes envolvidos é extremamente importante para a adesão do modelo.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas conclusões obtidas a partir da realização da presente pesquisa, são sugeridas algumas oportunidades para a realização de estudos futuros relacionados ao planejamento e controle logístico de obras:

- a) Avaliar o modelo proposto a partir da sua aplicação em outros tipos de contextos e empreendimentos;
- b) Analisar o uso de dispositivo móvel (*tablet*) no canteiro de obra para coleta de dados;
- c) Fazer uma aplicação dos indicadores propostos;
- d) Empregar o uso de RFID para identificação dos materiais desde seu carregamento na fábrica para monitorar a localização dos componentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGAPIOU, Andrew et al. The role of logistics in the materials flow control process. **Construction Management & Economics**, v. 16, n. 2, p. 131-137, 1998.
- AIA. Document G202 – 2013 Copyright © 2013 by **The American Institute of Architects**.
- AKEN, Joan E. van. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.
- AKINCI, Burcu et al. Representing work spaces generically in construction method models. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 4, p. 296-305, 2002.
- AKINCI, Burcu; FISCHER, Martin; KUNZ, John. Automated generation of work spaces required by construction activities. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, n. 4, p. 306-315, 2002.
- AKINCI, Burcu; FISCHER, Martin; ZABELLE, Todd. Proactive approach for reducing non-value adding activities due to time-space conflicts. In: **Proceedings... ICGL-6**, Sao Paulo, Brazil. 1998. p. 1-16.
- AKINTOYE, Akintola. Just-In-Time application and implementation for building material management. **Construction Management and Economics**, v. 13, p. 105- 113, 1995.
- ALVES, Thaís CL. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso**. Porto Alegre, v. 152, 2000.
- ANDAYESH, Mohsen; SADEGHPOUR, Farnaz. Dynamic site layout planning through minimization of total potential energy. **Automation in Construction**, v. 31, p. 92-102, 2013.
- AZHAR, Salman. 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. et al. Production System Design in Construction. In: **Proceedings... ICGL 9**. Singapore, 2001.
- BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, The University of Birmingham, Birmingham, 2000.
- BALLARD, G.; 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. Implementing Lean Construction : Stabilizing Work Flow In: **Proceedings...IGLC** Santiago, 1994.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. Lean Project Management. **Building Research & Information**, v. 2, n. 31, p. 119-133, 2003.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. What Kind of Production is Construction? In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 6., **Proceedings... Guarujá: IGLC/UFRGS**, 1998.
- BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Aiming for continuous flow. **LCI White Paper**, v. 3, 1999.

- BALLARD, Glenn; ARBULU, Roberto. Making prefabrication lean. In: **Proceedings**. 12 th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr. 2004. p. 3-5.
- BERTAGLIA, P. R. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- BERTELSEN, S.; NIELSEN, J. Just-In-Time logistics in the supply of building materials. In: First International Conference on Construction Industry Development: Building the Future. **Proceedings...** Singapore, December, 1997.
- BHATLA, Ankit; LEITE, Fernanda. Integration Framework of BIM with the Last Planner System. **Proceedings...** IGLC, 2012.
- BIM Forum. **Level of Development Specification: For Building Information Models**. Version 2014. [Acessado em 12/02/2014: <http://www.bimforum.org/lod>]
- BIOTTO, C. N. **Método de Gestão da Produção na Construção Civil com Uso da Modelagem BIM 4D**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- BRISCOE, Geoffrey H. et al. Client-led strategies for construction supply chain improvement. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 2, p. 193-201, 2004.
- BULHÕES, I. R. **Diretrizes Para Implementação de Fluxo Contínuo na Construção Civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. 2009. 339 f. 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- 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.
- CHAVADA, Rajiv; DAWOOD, N. N.; KASSEM, Mohamad. Construction workspace management: the development and application of a novel nD planning approach and tool. **Journal of Information Technology in Construction**, 2012.
- CHIN, Sangyoon et al. RFID+ 4 D CAD for progress management of structural steel works in high-rise buildings. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 22, n. 2, p. 74-89, 2008.
- CHOO, Hyun Jeong; TOMMELEIN, Iris D. Space scheduling using flow analysis. In: **Proceedings....** IGLC. 1999. p. 299-311.
- CHRISTOPHER, Martin. **Logistics and supply chain management**. Pearson UK, Fourth Edition. 2011.
- COLE, Robert et al. Being proactive: where action research meets design research. **ICIS 2005 Proceedings**, p. 27, 2005.
- CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos Alberto. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. Atlas, 2008.
- COSTA, Dayana et al. **Sistema de Indicadores para Benchmarking na Construção Civil1**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2005.
- COX III, James F.; SPENCER, Michael S. **Manual da Teoria das Restrições**: Prefácio de Eliyahu M. Goldratt. Bookman, 2002.
- DAVIES, Richard; HARTY, Chris. Implementing 'Site BIM': a case study of ICT innovation on a large hospital project. **Automation in Construction**, v. 30, p. 15-24, 2013.

- DAWOOD, Nashwan; MALLASI, Zaki. Construction workspace planning: assignment and analysis utilizing 4D visualization technologies. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 21, n. 7, p. 498-513, 2006.
- DAWOOD, Nashwan; MARASINI, Ramesh. An integrated database for real time management of stockyard “StockMan”: A case study in precast concrete products industry. In: **Proceedings** of the CIB-W78 international conference. 2001. p. 1-7.
- EADIE, Robert et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. **Automation in Construction**, v. 36, p. 145-151, 2013.
- EASTMAN, C. et al. **BIM Handbook: a guide to building information modeling**. New Jersey: John Wiley and Sons, 2011. p. 650
- EL-RAYES, Khaled; SAID, Hisham. Dynamic site layout planning using approximate dynamic programming. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 23, n. 2, p. 119-127, 2009.
- ELSAYED, E. A.; BOUCHER, T. O. **Analysis and Control of Production Systems**. 2 ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1994.
- FABRO, Fabiana. **Diretrizes para Implementação do Sistema Last Planner de Controle da Produção em Empresas de Estruturas Metálicas**. Porto Alegre: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- FARD, Mani Golparvar; PEÑA-MORA, Feniosky. Application of visualization techniques for construction progress monitoring. In: **Proceedings of the ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering, Pittsburgh, PA**. 2007. p. 216-223.
- FISCHER, Martin; SOMU, Chidambaram. Quantifying effects of specific 4D tool functionalities on 4d modeling productivity. ItCon. 2011
- FORMOSO, C. T.; et al. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Porto Alegre: UFRGS, 1999.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.
- GERO, John S.; KAZAKOV, Vladimir A. Learning and re-using information in space layout planning problems using genetic engineering. **Artificial Intelligence in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 329-334, 1997.
- GOLPARVAR-FARD, Mani 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.
- HAJDASZ, Magdalena. Flexible management of repetitive construction processes by an intelligent support system. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 4, p. 962-973, 2014.
- HARDIN, Brad. **BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows**. John Wiley & Sons, 2011.
- HARRIS, R.; IOANNOU, P. Scheduling projects with repeating activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 269–278, 1998.
- HARTMANN, Timo; GAO, Ju; FISCHER, Martin. Areas of application for 3D and 4D models on construction projects. **Journal of Construction Engineering and management**, v. 134, n. 10, p. 776-785, 2008.

- HAWKINS, Glenn. Industrialised, integrated and intelligent construction project logistics. *Industrialised, Integrated, Intelligent sustainable Construction*, p. 163. 2010.
- HEESOM, David; MAHDJOUBI, Lamine. 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. Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing. *International Journal of Production Economics*, v. 65, n. 2, p. 179-190, 2000.
- HOLMSTRÖM, Jan; KETOKIVI, Mikko; HAMERI, Ari-Pekka. Bridging practice and theory: a design science approach. *Decision Sciences*, v. 40, n. 1, p. 65-87, 2009.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics: foundation of manufacturing management**. New York: McGraw Hill, 2000. p. 726
- HOWELL, G.; KOSKELA, L. Reforming project Management: The Role of Lean Construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 8., Brighton, 2000. **Proceedings...** Brighton: IGLC, 2000.
- HU, Zhenzhong; ZHANG, Jianping. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. *Automation in Construction*, v. 20, n. 2, p. 167-180, 2011.
- HUANG, Ting et al. A virtual prototyping system for simulating construction processes. *Automation in Construction*, v. 16, n. 5, p. 576-585, 2007.
- ISMAIL, Faridah; BAHARUDDIN, Har Einur Azrin; MARHANI, Mohd Arif. Factors Towards Site Management Improvement for Industrialised Building System (IBS) Construction. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 85, p. 43-50, 2013.
- JANG, Hyounseung; LEE, Sangyoub; CHOI, Seokin. Optimization of floor-level construction material layout using Genetic Algorithms. *Automation in Construction*, v. 16, n. 4, p. 531-545, 2007.
- JONGELING, Rogier; OLOFSSON, Thomas. 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.
- KALA, Tanmaya; MOUFLARD, Christopher; SEPPÄNEN, Olli. Production control using location-based management system on a hospital construction project. In: **Proceedings...** San Diego: IGLC, 2012.
- KASANEN, Eero; LUKKA, Kari. The constructive approach in management accounting research. *Journal of management accounting research*, n. 5, p. 243-264, 1993.
- KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Stanford: CIFE, 1998. p. 135
- KOSEOGLU, O. Planning of Wireless Networks with 4D Virtual Prototyping for Construction Site Collaboration. In: **Computing in Civil Engineering** (2011). ASCE Publications, 2011. p. 355-362.
- 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. **Application of the new production philosophy to construction**. CIFE Technical Report, n. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Salford, 1992.

- KOSKELA, L. Making-do - the eighth category of waste. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 12, 2004, Copenhagen. **Proceedings...** Copenhagen: IGLC, 2004.
- KOSKENVESA, Anssi; KOSKELA, L. J. Introducing last planner-Finnish experiences. In: **Proceedings of 11th Joint CIB International Symposium-Combining Forces**. 2005. p. 95-107.
- LAMBERT, Douglas M. et al. **Fundamentals of logistics management**. Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill, 1998.
- LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is Construction Planning Really Doing Its Job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**, n. 5. 1987.
- LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). **Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. Tradução de Lean Institute Brasil. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003.
- LEE, Quarterman. 1998. **Projeto de Instalações e do Local de Trabalho**. IMAM, 1998.
- LEINONEN, Jarkko, et al. 2003. New Construction Management Practice Based. In **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**, A. A. Balkema Publishers, 75–99.
- LEITE, Fernanda et al. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 601-609, 2011.
- LI, Heng; LOVE, Peter ED. Genetic search for solving construction site-level unequal-area facility layout problems. **Automation in Construction**, v. 9, n. 2, p. 217-226, 2000.
- LI, Heng; LOVE, Peter ED. Site-level facilities layout using genetic algorithms. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 12, n. 4, p. 227-231, 1998.
- LUCKO, Gunnar; ALVES, Thaís Da CL; ANGELIM, Vanessa Lira. Challenges and opportunities for productivity improvement studies in linear, repetitive, and location-based scheduling. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 575-594, 2014.
- LUKKA, Kari. The constructive research approach. **Case study research in logistics. Publications of the Turku School of Economics and Business Administration**, Series B, v. 1, n. 2003, p. 83-101, 2003.
- MA, Zhaoyang; SHEN, Qiping; ZHANG, Jianping. Application of 4D for dynamic site layout and management of construction projects. **Automation in construction**, v. 14, n. 3, p. 369-381, 2005.
- MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision support systems**, v. 15, n. 4, p. 251-266, 1995.
- MATT, Dominik T.; DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin. Synchronization of the Manufacturing Process and On-site Installation in ETO Companies. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 457-462, 2014.
- MEADATI, Pavan; IRIZARRY, Javier; AKHNOUKH, Amin. Building Information Modeling Implementation-Current and Desired Status. In: **Computing in Civil Engineering** (2011). ASCE, 2011. p. 512-519.
- MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da Produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002. p. 391

MOON, HyounSeok et al. Development of a schedule-workspace interference management system simultaneously considering the overlap level of parallel schedules and workspaces. **Automation in Construction**, v. 39, p. 93-105, 2014.

NATO, 1997: Logistics handbook, <http://www.nato.int/docu/logi-en/logist97.htm>

NILSSON, Fredrik. Logistics management in practice-towards theories of complex logistics. **The International Journal of Logistics Management**, v. 17, n. 1, p. 38-54, 2006.

NINGAPPA, Geetanjali. **Use of Lean and Building Information Modeling (BIM) in the Construction Process ; Does BIM Make It Leaner ?**. Thesis (PhD) – Georgia Institute of Technology. 2011.

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

O'LAUGHLIN, Kevin A.; COPACINO, William C. **Logistics strategy. The logistics handbook**. Editores: J.F. Robenson & William C. Copacino. New York, The Free Press, p. 57-75, 1994.

OLEARCZYK, Jacek; AL-HUSSEIN, Mohamed; BOUFERGUÈNE, Ahmed. Evolution of the crane selection and on-site utilization process for modular construction multilifts. **Automation in Construction**, v. 43, p. 59-72, 2014.

OSKOUIE, Pedram et al. Extending the Interaction of Building Information Modeling and Lean Construction. In: **Proceedings... IGLC**. 2012.

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: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RUSSELL, Alan et al. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 219-236, 2009.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 12, p. 1307-1315, 2009.

SACKS, Rafael 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, Rafael, Burcu AKINCI, and Esin ERGEN. "3D modeling and real-time monitoring in support of lean production of engineered-to-order precast concrete buildings." INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, Virginia, 2003

SAID, Hisham; EL-RAYES, Khaled. Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites. **Automation in Construction**, v. 31, p. 292-306, 2013.

SAID, Hisham; EL-RAYES, Khaled. Optimizing material logistics planning in construction projects. In: **Construction Research Congress**. 2010.

SAURIN, Tarcísio A. **Método para diagnóstico e diretrizes para planejamento de canteiros de obras de edificações**. Porto Alegre, 1997. Dissertação (Mestrado) – UFRGS.

SCHEER, S. et al. On-Site BIM Model Use to Integrate 4D/5D Activities and Construction Works: A Case Study on a Brazilian Low Income Housing Enterprise. In: **Computing in Civil and Building Engineering (2014)**. ASCE. p. 455-462.

- SCHRAMM, F. K. **Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- SEIN, Maung et al. **Action design research**. 2011. MIS Quarterly Vol. 35 No. 1 pp. 37-56.
- SEPPÄNEN, Olli. **Empirical research on the success of production control in building construction projects**. 2009.
- SEPPÄNEN, Olli; BALLARD, Glenn; PESONEN, Sakari. The combination of last planner system and location-based management system. **Lean Construction Journal**, v. 6, n. 1, p. 43-54, 2010.
- SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996a. 291p.
- SILVA, Fred Borges; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Applicability of logistics management in lean construction: a case study approach in Brazilian building companies**. Proceedings IGLC. Vol. 7. 1998.
- SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. São Paulo, Atlas. 2009.
- SULANKIVI, K. et al. 4D-BIM for construction safety planning. In: **Proceedings of W099-Special Track 18th CIB World Building Congress**. 2010. p. 117-128.
- TEZEL, Algan et al. Visual Management in Brazilian Construction Companies: Taxonomy and Guidelines for Implementation. **Journal of Management in Engineering**, 2015.
- THOMAS, H. Randolph; SANVIDO, Victor E.; SANDERS, Steve R. Impact of material management on productivity-A case study. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 115, n. 3, p. 370-384, 1989.
- TOMMELEIN, I. D. Materials handling and site layout control. **Automation and Robotics in Construction XI**, p. 297-304, 1994.
- TOMMELEIN, Iris D. **Acknowledging variability and uncertainty in product and process development**. Netherlands: Swets & Zeitlinger, Lisse, 2003.
- TOMMELEIN, Iris D.; WEISSENBERGER, Markus. More just-in-time: Location of buffers in structural steel supply and construction processes. In: **Proceedings IGLC**. 1999. p. 109.
- TOMMELEIN, Iris Denise. An Expert System that Models and Augments Human Decision-Making for Designing Construction Site Layouts. 1989. Tese de Doutorado. Stanford University.
- TREBBE, Martijn; HARTMANN, Timo; DORÉE, André. 4D CAD models to support the coordination of construction activities between contractors. **Automation in Construction**, v. 49, p. 83-91, 2015.
- VOLK, Rebekka; STENGEL, Julian; SCHULTMANN, Frank. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. **Automation in Construction**, v. 38, p. 109-127, 2014.
- WANG, H. J. et al. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. **Automation in Construction**, v. 13, n. 5, p. 575-589, 2004.
- WANG, Wei-Chih et al. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68-80, 2014.

WEBB, Robert M.; SMALLWOOD, John; HAUPT, Theo C. The potential of 4D CAD as a tool for construction management. **Journal of Construction Research**, v. 5, n. 01, p. 43-60, 2004.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A máquina que mudou o mundo**. Gulf Professional Publishing, 1992.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, 2003.

ZHANG, J. P.; HU, Z. Z. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. **Automation in construction**, v. 20, n. 2, p. 155-166, 2011.

ZHANG, J. P.; MA, Z. Y.; PU, Cheng. 4D visualization of construction site management. In: **Information Visualisation, 2001. Proceedings. Fifth International Conference on**. IEEE, 2001. p. 382-387.

ZOLFAGHARIAN, Samaneh; IRIZARRY, Javier. Current Trends in Construction Site Layout Planning. In: **Construction Research Congress 2014**. Construction in a Global Network. ASCE. p. 1723-1732.

ZOUEIN, P. P.; TOMMELEIN, I. D. Improvement algorithm for limited space scheduling. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 127, n. 2, p. 116-124, 2001.

APÊNDICE A:  
PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

| Controle Plano Logístico   |  |  |                 |         |   |      |
|--|--|--|-----------------|---------|---|------|
| <b>Protocolo de coleta de dados</b>  |  |  |                 |         | Data coleta:<br>Preenchido por:   |      |
| <b>Atividade</b> (colocar tipo de material: medajoist, estrutura, etc): _____ <b>Etapa:</b> _____                        |  |  |                 |         |   |      |
| <b>Acessos</b>   |  |  | OK              | Não OK  | <b>Causas</b>   |      |
| Vias de acesso interno na obra estão acessíveis (sem interferência de equipamentos, materiais, lama por causa de chuvas) |  |  |                 |         |   |      |
| Estão seguindo o caminho previamente definido para os principais fluxos de materiais (olhar projeto)                     |  |  |                 |         |   |      |
| <b>Armazenamento de materiais - Previsto Realizado</b>   |  |  | OK              | Não OK  | <b>Causas</b>   |      |
| O descarregamento do material ocorreu no local correto planejado (olhar projeto)   |  |  |                 |         |   |      |
| A área para descarregamento está isolada para realização da atividade  |  |  |                 |         |   |      |
| A carga está amarrada no skid para realizar o descarregamento  |  |  |                 |         |   |      |
| <b>Operações de descarregamento</b>  |  |  |                 |         |   |      |
| Tempo de descarregamento de peças do caminhão (anotar HORA)  |  |  |                 | Início: |   | Fim: |
| Recursos:  |  |  |                 |         |   |      |
| Mão de obra necessária para o descarregamento:   |  |  | Número Pessoas: |         |   |      |
| Equipamento utilizado no descarregamento: (marcar X)   |  |  | Munk            |         | Guindaste   |      |
|  |  |  |                 |         | PTA   |      |
|  |  |  |                 |         | Outro   |      |
| <b>Making do</b> (anotar atividade realizada improvisadamente sem ter as condições necessárias)                          |  |  |                 |         | <b>Identificação de exposição ao risco</b> (anotar alguma atividade executada que apresentou risco de acidente) |      |
| <b>Realizado não Previsto</b> (anotar alguma atividade que foi realizada mas que não tinha sido planejada)               |  |  |                 |         | <b>Observações</b>  |      |