

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

**Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas
de trabalho e BIM**

Fabício Berger de Vargas

Porto Alegre
2018

FABRÍCIO BERGER DE VARGAS

**MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO
BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO E BIM**

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

Porto Alegre
2018

CIP - Catalogação na Publicação

Vargas, Fabrício Berger de
Método para planejamento e controle da produção
baseado em zonas de trabalho e BIM / Fabrício Berger
de Vargas. -- 2018.
179 f.
Orientador: Carlos Torres Formoso.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil: construção e
infraestrutura, Porto Alegre, BR-RS, 2018.

1. Planejamento baseado na localização. 2.
Planejamento e Controle da Produção. 3. Building
Information Modeling (BIM). 4. Sistema Last Planner
(LPS). 5. Simulação 4D. I. Formoso, Carlos Torres,
orient. II. Título.

FABRÍCIO BERGER DE VARGAS

**MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO
EM ZONAS DE TRABALHO E BIM**

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

Porto Alegre, 29 de agosto de 2018

Prof. Carlos Torres Formoso
PhD pela *University of Salford* / Grã-Bretanha
Orientador

Prof. Carlos Torres Formoso
Coordenador do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profa. Daniela Dietz Viana (UFRGS)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

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

Profa. Thaís da Costa Lago Alves (San Diego State University)
PhD pela *University of California, Berkeley*, Estados Unidos.

Dedico este trabalho à minha família, principalmente aos meus pais Cleber e Gilzani, pelo amor e incentivo em todos os momentos da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao Professor Carlos Torres Formoso por contribuir com o meu desenvolvimento pessoal e profissional. É um prazer poder aprender com um profissional que possui uma vasta experiência e o conhecimento. Sou grato por todos os ensinamentos, oportunidades e todo apoio que me deste durante esses anos. Tu foste e continua sendo uma referência para o meu crescimento.

Agradeço também à família NORIE pelo acolhimento durante esse período, e principalmente aos meus colegas de classe do ano de 2016 e ao grupo de Gestão e Economia da Construção. Todas as nossas discussões sempre foram muito proveitosas e com certeza contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Deixo a minha gratidão a todos vocês e tenho certeza que as grandes amizades que se formaram perpetuarão pelo tempo.

Agradeço em especial, à bolsista de iniciação científica Flávia Olicheski de Marchi, que auxiliou no desenvolvimento desta pesquisa e aos colegas Fernanda Saidelles Bataglin, João Soliman Junior e Luciana Gheller, que contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço às empresas e seus colaboradores pela oportunidade e apoio no desenvolvimento da pesquisa. Em destaque, à Karina Barth, ao Marcus Sterzi e ao Renato Brito pelo conhecimento compartilhado e pela oportunidade de desenvolver um trabalho em conjunto.

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

Agradeço a minha família por todo amor e apoio. Em especial, aos meus pais Cleber e Gilzani, meu irmão Juliano e sua esposa Letícia, que não medem esforços para me ver feliz, sempre me incentivaram a ser uma pessoa melhor e correr atrás dos meus sonhos.

Aos meus amigos de Santa Maria, que, mesmo de longe, sempre se fizeram presente na minha vida, e aos amigos de Canoas, que fizeram com que esse período de muito foco e dedicação se tornasse mais leve e prazeroso.

Enfim, sou muito grato a Deus por me proporcionar todas as experiências que tive até hoje. A vida é feita de escolhas, e fico muito feliz que todas as que fiz até hoje me trouxeram até onde eu estou.

“Every great dream begins with a dreamer. Always remember, you have within you the strength, the patience, and the passion to reach for the stars to change the world.”

Harriet Tubman

RESUMO

DE VARGAS, F.B. **Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em Zonas de Trabalho e BIM**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

A abordagem de planejamento e controle da produção (PCP) baseada em zonas de trabalho tem como vantagem explicitar o fluxo de trabalho ao longo das unidades de produção, podendo ser associado ao Sistema Last Planner (LPS) e a modelos BIM 4D. Tais modelos permitem visualizar o processo de construção e disseminar decisões de planejamento às equipes de produção. Entretanto, ainda existem algumas lacunas de conhecimento, tanto práticas como teóricas, referentes à implementação desta abordagem, principalmente relativas à aplicação de conceitos e princípios da filosofia da produção enxuta e a interação destes com as funcionalidades BIM. Destaca-se a necessidade de desenvolver estudos sobre métodos de PCP que considerem a natureza parcialmente repetitiva das atividades de construção e aspectos relacionados à gestão dos fluxos de trabalho e do produto. O presente trabalho propõe um método para PCP baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM, e explora a sua interface com o LPS. A abordagem metodológica utilizada foi a Design Science Research, sendo conduzidos dois estudos empíricos em empresas atuantes no mercado imobiliário. As principais contribuições do método proposto estão ligadas às ferramentas propostas, que podem potencialmente contribuir para aumentar a qualidade da informação, principalmente relacionadas a fluxos de trabalho, e deram suporte para uma tomada de decisão colaborativa.

Palavras-chave: Planejamento baseado na localização. Planejamento e Controle da Produção, Building Information Modeling (BIM). Sistema Last Planner (LPS). Simulação 4D.

ABSTRACT

DE VARGAS, F.B. **Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em Zonas de Trabalho e BIM. 2018.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

The location-based approach for production planning and control has the advantage of making explicit the workflow throughout the production units, being possible to make a connection to the Last Planner System (LPS) and 4D BIM models. Such models allow visualizing the construction process and disseminating planning decisions to production teams. However, there are still some knowledge gaps, in both practice and research, regarding the implementation of this approach. These gaps are mainly related to the application concepts and principles of the lean production philosophy, and the interaction of these with BIM functionalities. Indeed, it is necessary to develop studies on planning and control methods that consider the partially repetitive nature of construction activities, and on the aspects related to work and product flow management. The aim of this research work is to propose a Location-Based Planning and Control method supported by BIM and explore its interface with LPS. Design Science Research was the methodological approach adopted in this investigation and two empirical studies were carried out in real estate companies. The main contributions of the proposed method are related to the tools adopted, which can potentially contribute to improve the quality of information, mainly related to workflows, and to provide support to collaborative decision making.

Keywords: Location-based planning. Production Planning and Control. Building Information Modeling. Last Planner System (LPS). 4D simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão convencional de um processo de produção como um processo de conversão.....	28
Figura 2 – Produção como um processo de fluxo	28
Figura 3 – Estrutura da produção	29
Figura 4 – Processo de planejamento da produção	30
Figura 5 – Sistemas de planejamento tradicional e o Sistema Last Planner	31
Figura 6 – (a) Cronograma baseado em atividades e (b) baseado em zonas de trabalho	33
Figura 7 – Primeira parte do quadro comparativo entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho	34
Figura 8 – Segunda parte do quadro comparativo entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho	35
Figura 9 – Comparação visual entre diferentes ferramentas de planejamento para a construção	39
Figura 10 – Comparação entre diferentes ferramentas de planejamento para a construção	39
Figura 11 – Sistemas de localização	42
Figura 12 – Relações lógicas	44
Figura 13 – Planos previsto, realizado e projeção	48
Figura 14 – Modelagem progressiva de uma casa	51
Figura 15 – Parâmetros relacionados aos entregáveis	52
Figura 16 - Interações entre as funcionalidades BIM e os princípios Lean relevantes para o presente trabalho	55
Figura 17 – Delineamento da pesquisa	61
Figura 18 - Relação das etapas do estudo com os empreendimentos e empresas envolvidas	62
Figura 19 – Planta baixa do pavimento tipo do Empreendimento E0	62
Figura 20 – Vistas do Empreendimento E1	64
Figura 21 – Tipologias das casas	64
Figura 22 – Vista da implantação do Empreendimento E1	65
Figura 23 – Imagem 3D da implantação do empreendimento	69
Figura 24 – Implantação do empreendimento com identificação das torres e dos apartamentos	69
Figura 25 –Planta baixa (a) dos apartamentos de extremidade (01, 02, 05 e 06) e (b) dos apartamentos centrais (03 e 04).....	70
Figura 26 – Cronograma de entrega do empreendimento.....	70
Figura 27 – Descrição dos constructos, subconstructos, evidências e fontes de evidências	73
Figura 28 – Modelo BIM da edificação estudada	74
Figura 29 – Quantitativo de área de superfície de topo das lajes.....	75
Figura 30 – Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, com o quarto pavimento isolado e a divisão do pavimento em frente e fundos.....	75
Figura 31 – Parte da estrutura de custos	76
Figura 32 – Parte da vinculação dos elementos de custo às tarefas do planejamento.....	76
Figura 33 – Plano representado pela linha de fluxo e modelo 4D	77
Figura 34 – (a) plano de médio prazo e (b) lista de restrições	80
Figura 35 – (a) Identificação dos locais dos andaimes e (b) controle do avanço físico dos serviços executados	81

Figura 36 – (a) <i>Layout</i> do canteiro de obras com as áreas de descarga de materiais e (b) Quadro da programação da entrega de materiais	82
Figura 37 – (a) Antecipação do assentamento dos azulejos, (b) antecipação da colocação do revestimento da escada e (c) quebra das paredes e das plaquetas para assentamento do peitoril da janela	84
Figura 38 – Arquivos de modelagem utilizados no estudo	85
Figura 39 – Ferramenta de comparação de versões dos modelos permite ver a diferença entre o nível de detalhe da versão 1 para a versão 3 da casa tipo 4	86
Figura 40 – Modelo BIM do Empreendimento E1	86
Figura 41 – Parte dos diagramas de sincronia da unidade base dos módulos de casas com dois e três pavimentos	87
Figura 42 – Estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E1	88
Figura 43 – Visualização dos diferentes níveis da estrutura hierárquica do Empreendimento E1 diretamente no modelo BIM	89
Figura 44 – Organização elementos do modelo BIM em itens, exemplificado com o item das lajes das casas.....	90
Figura 45 – Implantação do empreendimento, divisão dos lotes e diferentes frentes de trabalho	90
Figura 46 – Linha de balanço referente ao plano de longo prazo do Empreendimento E1	91
Figura 47 – Vínculos entre componentes de custo e a duração das tarefas	92
Figura 48 – Linha de fluxo do Empreendimento E1	93
Figura 49 – Simulação 4D que mostra as atividades que estarão em andamento em determinada semana	94
Figura 50 – Ferramenta visual de controle da produção	95
Figura 51 – (a) Planilha de curto prazo inicial e (b) planilha de curto prazo alterada com hierarquia de zonas de trabalho	96
Figura 52 – Fluxo das informações que geram o indicador de terminalidade e as relações com o status da atividade	97
Figura 53 – Gráfico do status dos lotes	98
Figura 54 – Mapa das partes interessadas – interesses de cada um dos intervenientes	99
Figura 55 – (a) Parte do gráfico de desvio de ritmo da execução do radier com 17 lotes de produção e (b) proposição de um novo gráfico	101
Figura 56 – Painel de satisfação e comparação dos empreiteiros	107
Figura 57 – Parte do documento de procedimento de execução	108
Figura 58 – Modelo BIM do Empreendimento E2	110
Figura 59 – Exemplo de uma família de parede composta.....	111
Figura 60 – Estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E2	113
Figura 61 – Representação de parte da estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E2, com ênfase ao pavimento térreo da torre A	114
Figura 62 – Elementos do modelo categorizados, sendo que o item que continha as portas das torres estava selecionado	115
Figura 63 – Diagrama de precedência da unidade base com informações que serviram como base para o plano de longo prazo	116
Figura 64 – Parte do plano de longo prazo.....	117
Figura 65 – Vinculação dos elementos às tarefas	118

Figura 66 – (a) Linha de fluxo com tarefa resumo (contrapiso), (b) desagregação da tarefa resumo em suas subtarefas, (c) filtragem apenas dos pavimentos térreos das torres.....	119
Figura 67 – Interdependência entre diferentes empreendimentos da Empresa B.....	121
Figura 68 – Gráfico de Gantt das tarefas de alvenaria e laje das torres A e B	122
Figura 69 – Execução da alvenaria das torres A e B ao mesmo tempo evidenciada na linha de fluxo e na simulação 4D.....	123
Figura 70 – Desbalanceamento das atividades evidenciada pelos fluxos das equipes	124
Figura 71 – Balanceamento das equipes evidenciado pelo fluxo das equipes de lajes	125
Figura 72 – Cronograma de entrega dos blocos combinado com os resultados das simulações	127
Figura 73 – Parte da linha de balanço final transcrita para o Excel, representando o plano das torres A e B.....	127
Figura 74 – Parte do quadro de controle visual.....	129
Figura 75 – Controle do avanço físico.....	130
Figura 76 – Lista de tarefas em uma janela de 3 meses	131
Figura 77 – Adaptação da planilha de controle de terminalidade.....	131
Figura 78 – Planilhas de médio prazo	132
Figura 79 – Macro fases do método	137
Figura 80 – Versão simplificada do método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM	138
Figura 81 – Relações entre Hierarquia de zonas de trabalho, zonas de trabalho, sistemas de localização e níveis hierárquicos.	146
Figura 82 – Relação entre o tamanho da zona de trabalho, do lote de produção e do lote de transferência	146
Figura 83 – Dois exemplos das relações entre lotes de produção, transferência e zonas de trabalho	147
Figura 84 – Compatibilidade entre o nível de detalhe do modelo BIM, da estrutura de custos e do planejamento	149
Figura 85 – Nível de desenvolvimento do modelo e o fluxo de informação.....	150
Figura 86 – Principais definições dos conceitos adotados no trabalho	155
Figura 87 – Mapa conceitual.....	158
Figura 88 – Relações do método com Lean	159
Figura 89 – Relações entre as saídas da DSR e os resultados do trabalho.....	160

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA – *American Institute of Architects*

BIM – *Building Information Modeling*

CPM – *Critical Path Method*

DSR – *Design Science Research*

EAP – Estrutura Analítica de Projeto

IFC – *Industry Foundation Class*

IRR - Índice de Remoção de Restrições

LOD – *Level of Development*

MPS – Especificação Progressiva do Modelo – *Model Progress Specification*

NORIE – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida

PPC – Percentual de pacotes completos

LBM – *Location-Based Management*

LPS – *Last Planner System* – Sistema *Last Planner*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	21
1.3 MOTIVAÇÃO	24
1.4 QUESTÕES DE PESQUISA	24
1.5 OBJETIVOS	25
1.6 DELIMITAÇÕES	25
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2 SISTEMAS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	27
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO	27
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	29
2.2.1 Sistema <i>Last Planner</i> (LPS)	31
2.2.2 Projeto do Sistema de Produção (PSP)	32
2.2.3 Diferentes abordagens de PCP.....	32
2.2.4 Comparação entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho.....	33
2.2.5 Técnicas de planejamento.....	36
2.2.5.1 Linha de balanço	36
2.2.5.2 Linha de fluxo (<i>Flowline</i>).....	36
2.2.5.3 <i>Takt-Time Planning</i> (TTP)	37
2.2.5.4 Comparação das ferramentas utilizadas para planejamento	38
2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO.....	40
2.3.1 Zonas de trabalho.....	41
2.3.2 Tarefas e atividades	42
2.3.3 Relações lógicas entre tarefas e atividades	43
2.3.4 Quantitativos.....	44
2.3.5 Produtividade e consumo de recursos	45
2.3.6 Durações.....	45
2.3.7 <i>Buffers</i>	46
2.3.8 Controle da produção baseado em zonas de trabalho	47
3 BUILDING INFORMATION MODELING NA GESTÃO DA PRODUÇÃO.....	49
3.1 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i>	49

3.1.1 Nível de desenvolvimento (LOD).....	50
3.1.2 Especificação Progressiva do Modelo (MPS)	51
3.2 USO DE MODELOS BIM 4D PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	52
3.3 SINERGIAS ENTRE BIM E <i>LEAN</i>	54
4 MÉTODO DE PESQUISA.....	57
4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	57
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	59
4.3 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS	62
4.3.1 Etapa 1 - Estudo exploratório	62
4.3.1.1 Descrição do Empreendimento E0	62
4.3.1.2 Descrição das atividades realizadas	63
4.3.2 Etapa 1 - Estudo empírico 1	63
4.3.2.1 Descrição da Empresa A.....	63
4.3.2.2 Descrição do Empreendimento E1	64
4.3.2.3 Descrição das atividades realizadas	65
4.3.3 Etapa 2 - Estudo empírico 2	68
4.3.3.1 Descrição da Empresa B.....	68
4.3.3.2 Descrição do Empreendimento E2	68
4.3.3.3 Descrição das atividades realizadas	70
4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	72
5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	74
5.1 ETAPA 1 - ESTUDO EXPLORATÓRIO.....	74
5.1.1 Contribuições do estudo exploratório	77
5.2 ETAPA 1 - ESTUDO EMPÍRICO 1.....	78
5.2.1 Sistema de Planejamento e Controle da Produção existente na Empresa A	78
5.2.2 Análise da situação em que se encontrava a Empresa A e o Empreendimento E1	82
5.2.3 Fase de implementação	84
5.2.3.1 Definições do uso modelo BIM e o processo de modelagem 3D	84
5.2.3.2 Definições iniciais de planejamento e da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho.....	86
5.2.3.3 Etapas fundamentais associadas ao desenvolvimento do modelo 4D.....	89
5.2.3.4 Elaboração do plano	90
5.2.3.5 Uso do modelo 4D	93
5.2.3.6 Mudanças específicas na Empresa A.....	95

5.2.4 Contribuições do estudo e reflexão sobre as lições aprendidas	101
5.3 ETAPA 2 – ESTUDO EMPÍRICO 2	105
5.3.1 Sistema de Planejamento e Controle da Produção existente na Empresa B	105
5.3.2 Fase de implementação	109
5.3.2.1 Análise, definições do uso e adaptação do modelo 3D	109
5.3.2.2 Definições iniciais de planejamento e da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho	112
5.3.2.3 Etapas fundamentais associadas ao desenvolvimento do modelo 4D	114
5.3.2.4 Elaboração do plano de longo prazo	115
5.3.2.5 Uso do modelo 4D	119
5.3.2.6 Controle da produção	128
5.3.2.7 Mudanças sugeridas e inicialmente acompanhadas na Empresa B	132
5.3.3 Contribuições do estudo e reflexão sobre as lições aprendidas	133
6 MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO E BIM	137
6.1 VISÃO GERAL DO MÉTODO	137
6.1.1 Diretrizes para definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho	143
6.1.2 Diretrizes para categorização dos elementos do modelo BIM	147
6.1.3 Discussão sobre a integração entre o modelo BIM, o custo e o planejamento	148
6.2 AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO	149
6.2.1 Utilidade	151
6.2.2 Facilidade de uso	152
6.3 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS	154
7 CONCLUSÕES	160
7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES	160
7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	163
REFERÊNCIAS	164
APÊNDICE A – Fluxograma do PCP adotado na Empresa A	176
APÊNDICE B – Fluxo da informação dos processos relacionados ao PCP baseado em zonas de trabalho e BIM	177
APÊNDICE C – Fluxo simplificado do processo de PCP sugerido à Empresa B	178
APÊNDICE D – Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em zonas de trabalho e BIM detalhado	179

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a motivação, o contexto e justificativa deste trabalho, bem como contempla o problema de pesquisa, as questões de pesquisa, os objetivos, delimitações e estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

O planejamento e controle da produção (PCP) tem um importante papel para a conclusão bem-sucedida de projetos de construção (DAVE; SEPPÄNEN; MODRICH, 2016). O planejamento facilita a compreensão dos objetivos do projeto e produz informações que servem como referência básica para revisar, monitorar e controlar a execução de empreendimentos de construção, aumentando a probabilidade de êxito no que diz respeito a execução de projetos (LAUFER, 1990). Além disso, o planejamento produz informações consistentes para apoiar a tomada de decisões, uma vez que são definidas as tarefas necessárias para realizar o empreendimento, e os responsáveis pela realização das mesmas (LAUFER, 1990).

Não menos importante que o planejamento, o controle da produção é definido por Laufer e Tucker (1987) como o processo que garante que as ações sejam executadas conforme o planejamento previsto para alcançar as metas desejadas. Corroborando esta ideia, Formoso (1991) considera que o controle é inerente ao processo de planejamento e define planejamento como um processo de tomada de decisões que define as metas e os procedimentos necessários para atingi-las, sendo efetivo se for seguido de um controle.

O planejamento e controle da produção de empreendimentos de construção envolve uma grande quantidade de atividades, que podem estar relacionadas a um elevado grau de interdependência, de incerteza (DUBOIS; GADDE, 2002) e variabilidade (RADOSAVLJEVIĆ; HORNER, 2002). Essa incerteza pode ser causada por diferentes fatores, incluindo erros de projeto, mudanças de escopo, informações insuficientes, falta de fornecimento de material, falta de comunicação ou até fatores ambientais (HAJDASZ, 2014). A variabilidade presente na construção, uma característica para a não-uniformidade ou irregularidade, tem um impacto negativo no desempenho do projeto, interrompendo o fluxo de trabalho, o que pode ter consequências prejudiciais em termos de custo, duração e qualidade do projeto (CRICHTON, 1966; NAHMIAS, 2009, HAMZEH *et al.*, 2007). Segundo Formoso *et al.* (2001), a ineficácia

do planejamento e controle acaba expondo o processo de produção à variabilidade e à incerteza, o que resulta em mudanças de ritmo e interrupções na execução das atividades.

Os métodos tradicionais de PCP mais utilizados são fortemente embasados na técnica do CPM (*Critical Path Method*) e nas práticas tradicionais de gestão de projetos, que são disseminados pelo PMI (*Project Management Institute*), por meio de seus eventos e publicações. Entretanto, esses métodos possuem deficiências e limitações na tentativa de atender as necessidades das equipes de produção (KOSKELA; HOWELL, 2002), sendo fortemente criticados na literatura (SELINGER, 1980; JAAFARI, 1984; REDA, 1990; 1992, WONG, 1993; KOSKELA *et al.*, 2014). Eles não consideram interferências entre tarefas, incertezas na disponibilidade de recursos (LAUFER; TUCKER, 1987) e o excesso de folgas de tempo e locais de trabalho presentes para a proteção do cronograma, o qual possui incertezas e é pouco confiável. O método CPM também possui limitações relacionadas ao balanceamento de equipes (RUSSELL; WONG 1993, HAMZEH *et al.* 2015) e a continuidade dos recursos, como mão de obra e equipamento (MATTILA; PARK 2003, BENJAORAN *et al.* 2015). Koskela *et al.* (2014) afirmam que o método CPM sofreu uma transformação, mudando de uma forma de gerir a produção para um método utilizado para controle de contratos e tarefas.

Segundo Koskela e Howell (2002), o controle da produção realizado de forma tradicional busca identificar as inconsistências entre as atividades realizadas e um padrão estabelecido, partindo do pressuposto que a gestão deve ocorrer por aderência a um plano original. Nesse sentido, há dificuldades em tomar decisões proativas, fazendo com que sempre se solucione os efeitos destas inconsistências de forma reativa.

Neste contexto, a indústria da construção civil tem apresentado modificações e melhorias nos últimos anos, mas ainda está distante de ser equiparada aos níveis de produtividade, qualidade e eficiência de outros ramos da indústria (TEICHOLZ *et al.*, 2001; NAVON; SACKS, 2007; NASCIMENTO; SANTOS, 2008). Logo, existe a necessidade de mudanças na construção civil, tanto nos processos de produção como nos processos gerenciais (ASSUMPÇÃO, 1996; TRIGUNARSYAH; ABIDIN, 1997). Essas mudanças, em parte, são motivadas pela insuficiente abstração de princípios e técnicas desenvolvidas em outros setores, e a conseqüente tentativa de aplicação destes no contexto da construção civil (KOSKELA, 1992).

Nos anos 90 surgiu um novo paradigma no setor da construção, em que Lauri Koskela (1992) adaptou alguns conceitos e princípios gerais de Gestão da Produção, advindos do Sistema Toyota de Produção, às peculiaridades do setor da construção. A adaptação dos conceitos e princípios da *Lean Production*

resultou em um referencial teórico para a indústria da construção, denominada de *Lean Construction*. Nesse sentido, Koskela (2000) propôs a Teoria TFV, que contém um conjunto de seis princípios para melhorar os processos de produção: reduzir atividades que não agregam valor (perdas), reduzir o tempo de ciclo e a variabilidade, reduzir o número de passos ou partes, e aumentar a flexibilidade e a transparência.

Segundo Koskela (1992), existe uma grande quantidade de perdas presentes na construção expressas por meio da parcela atividades que não agregam valor. A visão de fluxo, ausente nas práticas da gestão tradicional, além de considerar as atividades que agregam valor, considera atividades que não agregam valor, e essas são consideradas perdas no processo (KOSKELA, 2000). Entretanto, o referido autor afirma que a visão de transformação é predominante na construção, o que resulta em perdas relacionadas ao fluxo de materiais e a atividades de fluxo ao setor de produção da construção. Logo, a gestão tradicional não dá suporte para a obtenção de fluxos de produtos estáveis e contínuos, o que também prejudica as transferências de trabalho entre os intervenientes no nível operacional.

A construção é, na maioria dos casos, caracterizada por uma produção baseada em projetos e pelo desenvolvimento de produtos únicos, na qual os fluxos são desordenados e há uma falta de conexão e articulação entre os processos (SACKS, 2016). O estudo de Seppänen (2009) apresenta evidências empíricas que corroboram com essa ideia, tendo realizado medições dos fluxos de equipes ao longo das zonas de trabalho, em empreendimentos de construção gerenciados de forma tradicional, e percebeu-se que os segmentos do processo apresentavam grandes intervalos de tempo e eram desconexos. Entretanto, caracterizar a construção pela produção de produtos únicos é uma visão limitada e em certa extensão uma maneira de conformismo (SACKS, 2016). O referido autor afirma que segundo a visão de processo, um empreendimento de construção é composto por diferentes espaços com diferentes graus de similaridades entre eles.

Segundo Ballard (2000), um bom fluxo de produção no contexto da construção diz respeito a confiabilidade, ou seja, uma produção estável e previsível. Sacks (2016) afirma que para que isto seja atingido, é necessário alcançar um bom fluxo de processos (locais), de operações (serviços) e entre diferentes empreendimentos em execução (portfólio). Quando o foco é nos processos, são observados os fluxos dos produtos no tempo e no espaço, ou seja, a transformação destes desde a matéria prima até o produto acabado (SHINGO, 1989), sendo importante considerar o fluxo entre os locais de trabalho (SACKS, 2016). Quando o foco é nas operações, observa-se o trabalho realizado para esta transformação ser obtida, ou seja, o fluxo dos operários ou equipamentos no tempo e no espaço (SHINGO, 1989). Nesse caso, é importante ter um bom fluxo entre os serviços executados, para que não

aconteçam situações nas quais dois serviços estão sendo realizados ao mesmo tempo em um mesmo local (SACKS, 2016). Além disso, para alcançar um bom fluxo de produção, é necessário considerar os recursos compartilhados entre diferentes empreendimentos em execução (SACKS, 2016), como por exemplo formas ou equipamentos. Assim, do mesmo modo que é importante considerar os fluxos entre os locais de trabalho de um mesmo empreendimento, é muito importante considerar os fluxos entre os locais de trabalho de diferentes empreendimentos, principalmente em função da subcontratação de serviços, que é predominante na construção civil (SACKS, 2016).

Os subcontratados não realizam suas tarefas de uma forma ininterrupta em apenas um empreendimento, e isto acarreta na simultaneidade de trabalho destes em mais de um empreendimento (SACKS, 2016). Ademais, a falta de confiabilidade no planejamento faz com que os subcontratados tenham um comportamento defensivo e acabem deixando folgas de espaço e de tempo antes de comprometerem seus recursos com os serviços, e isso gera ainda mais incerteza ao planejamento (SACKS, 2016). Deste modo, percebe-se que a subcontratação tem um profundo impacto no fluxo de trabalho e na habilidade dos gestores de controlá-lo (SACKS, 2016).

Nesse contexto, surgem novos modelos de PCP com base em mudanças conceituais, como o Sistema *Last Planner* e o *Location-Based Management*, que buscam reduzir os problemas apontados nos modelos tradicionais de PCP. O Sistema *Last Planner* (LPS) de planejamento e controle da produção é baseado em princípios da construção enxuta, e têm sido aplicado na construção civil (BALLARD, 2000) a fim de reduzir a variabilidade e a incerteza presentes nos fluxos de trabalho da construção, e proteger a produção dos seus efeitos nocivos (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012). Tommelein e Ballard (1997) acrescentam que o LPS utiliza o mecanismo de “puxar” a produção, buscando de forma proativa evitar a falta de recursos para que as novas atividades iniciem. Este mecanismo de “puxar” a produção libera o trabalho com base no status do sistema antes de iniciar a produção, permitindo assim limitar a quantia de trabalho em progresso existente (HOPP; SPEARMAN, 2000).

A abordagem denominada de *Location Based Management* (LBM) é uma ampliação da técnica linha de balanço, a qual já é utilizada na construção civil para planejar e controlar a produção, permitindo visualizar os fluxos de trabalho, simular e discutir diferentes estratégias e alternativas para o sequenciamento das atividades, ao mesmo tempo que traz informações de quando e onde cada atividade vai ser realizada (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008). Nesta pesquisa, esta abordagem foi denominada de PCP baseado em zonas de trabalho. Esta abordagem permite identificar os processos da construção em uma relação tempo-local-contexto, gerir de forma explícita os fluxos de trabalho na obra, ao mesmo tempo que suporta a tomada de decisão em diferentes níveis de planejamento (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014). Segundo

Lucko, Alves e Angelim (2014), no nível estratégico de planejamento, esta abordagem permite uma visão geral das informações a respeito dos locais, fluxo de trabalho, simultaneidade e interferências. No nível tático, permite visualizar a localização real das diferentes especialidades e formas de reorganiza-las, e no nível operacional, permite acompanhar os pacotes de trabalho semanais alocados nas zonas de trabalho (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014).

A abordagem baseada em zonas de trabalho permite prover fluxo ininterrupto de trabalho (foco nos recursos), completar em sequência as zonas de trabalho e promover uma produção equilibrada e ideal para as equipes envolvidas na construção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Além disso, essa abordagem permite desenvolver um PCP mais visual, por meio de uma variação da linha de balanço, a linha de fluxo (*flowline*), a qual foca na realização de uma atividade por vez em cada zona de trabalho, permitindo que os recursos se desloquem de um local para outro sem esperar, gerando assim um fluxo ininterrupto (SEPPÄNEN, 2014). Nesse sentido, Bølviken, Aslesen e Koskela (2015) definem que um bom plano é aquele que possui linhas contínuas, indicando fluidez do trabalho, que possui linhas que não se cruzam, indicando que apenas um serviço está acontecendo em cada zonas de trabalho em um dado período de tempo, e que essas linhas possuam uma distância ótima, indicando folga de tempo adequados entre estes serviços. Além disso, Seppänen, Modrich e Ballard (2015) indicam que tal abordagem visa à redução de perdas, o aumento da transparência e a melhora da previsibilidade dos fluxos da construção civil.

Além disso, esta abordagem permite que se identifique e visualize conceitos importantes ao PCP, como o tamanho do lote de produção, lead time (tempo total de produção de uma tarefa), tempo de ciclo (tempo para completar uma única unidade), ritmo de produção e sincronia (balanceamento das produtividades a fim de ter um fluxo de trabalho estável), simultaneidade (atividades acontecendo ao mesmo tempo em diferentes locais), trabalho em progresso, sequenciamento das atividades, trajetória das equipes, *buffers*, conflitos espaciais e técnicos, e trabalhos já executados (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014). Os referidos autores ainda afirmam que estas variáveis e fatores permitem identificar como as diferentes especialidades interagem e são interdependentes no sistema de produção.

Nesse sentido, Jongeling e Olofsson (2007) mostraram que a utilização da abordagem de planejamento baseada em zonas de trabalho é um mecanismo promissor para planejar o fluxo de trabalho quando associado a utilização de *Building Information Modeling* (BIM) para gerar modelos 4D, os quais servem para simular a construção antes mesmo dela acontecer. Entretanto, os referidos autores sugerem que mais pesquisas na área deveriam ser realizadas a fim de entender como propor melhorias ao fluxo de trabalho a partir do uso destas técnicas para planejar e gerir os espaços.

Um modelo BIM permite a visualização espacial do processo de construção (JONGELING; OLOFSSON, 2007) e tem um caráter integrador, pois uma ampla gama de informações sobre o produto e o processo podem ficar à disposição dos tomadores de decisão, ao longo de diferentes fases dos empreendimentos de construção (SEBASTIAN, 2011). Além de permitir melhorar a qualidade da informação de projeto, o uso de BIM, possibilita estabelecer mecanismos e procedimentos de como a informação é comunicada e compartilhada entre membros de uma equipe (CROTTY, 2012). A sua utilização permite o trabalho simultâneo e a cooperação entre os diferentes profissionais envolvidos, podendo contribuir para a redução dos conflitos de informações e aumentar a disponibilidade de informações para a tomada de decisão (EASTMAN *et al.*, 2008), apoiando atividades de coordenação (HOOPER; EKHOLM, 2010).

Com o objetivo de obter um melhor fluxo do produto, a utilização de ferramentas BIM 4D promovem acesso às informações em campo, permitem a visualização espacial das interferências entre atividades ocorrendo em um mesmo local e do progresso da construção do empreendimento (SACKS, 2016). Ainda, modelos 4D ajudam a reduzir conflitos espaciais nos canteiros de obras (KOO; FISCHER, 2000; HEESOM; MAHDJOURI, 2002), melhorar a visualização das diferentes disciplinas, comunicar o planejamento para os diferentes intervenientes envolvidos no projeto e melhorar a utilização do canteiro de obras (CHAU; ANSON; ZHANG, 2004).

De acordo com Eastman *et al.* (2008), modelos BIM podem fornecer informações precisas a respeito dos recursos necessários para cada atividade ao longo da etapa de produção. Por conseguinte, as melhorias na qualidade da informação, que é utilizada no processo de planejamento, não só melhoram a qualidade do planejamento em si, como também melhoram a previsibilidade da entrega do projeto (GLEDSON; GREENWOOD, 2017). Nesse sentido, as melhorias advindas da adoção de BIM podem permitir aos gestores produzir planejamentos mais confiáveis, além de comunicar decisões de planejamento de forma mais efetiva, permitindo assim melhor gerenciar as equipes de produção e aumentar a colaboração no ambiente de trabalho (EASTMAN *et al.*, 2008).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Os métodos tradicionais de PCP, criticados por não darem suporte para a natureza repetitiva presente em empreendimentos na construção civil (HARRIS AND IOANNOU 1998, HEGAZY AND KAMARAH 2008), não permitem visualizar os processos repetitivos e os fluxos de trabalho em múltiplos locais, o que contribui para que os processos no canteiro de obras pareçam caóticos e complexos (KENLEY, 2005). Apesar das limitações apontadas e da proposta de integração de sistemas de planejamento e de gestão da produção feita por alguns trabalhos (KOSKELA *et al.*, 2010; CARDIM; GRANJA, 2011), a

abordagem tradicional, tais como as redes CPM, continuam entre os métodos mais difundidos. Isto se deve principalmente aos pacotes computacionais conhecidos e disponíveis para planejamento e controle de empreendimentos, como Microsoft Project® e Primavera® (ASSUMPÇÃO, 1996; HEGAZY AND MENESI, 2010; BRAGADIN AND KÄHKÖNEN, 2016), e também por razões contratuais exigidas por proprietários e órgãos financiadores (OLIVIERI *et al.*, 2016b).

Por outro lado, algumas técnicas que abordam essa natureza repetitiva da construção, partem da premissa que projetos repetitivos consistem em várias unidades idênticas (HUANG; SUN, 2005). Entretanto, em determinadas situações, existem grupos de atividades ou porções de trabalho, que não necessariamente são iguais, mas que são similares em termos de sua complexidade, e se repetem ao longo de determinados locais de um empreendimento (HUANG; SUN, 2005; VALENTE *et al.*, 2014). Nesse sentido, as técnicas devem explicitar a característica repetitiva da construção, por meio de lotes de produção ou padrões de repetições em locais distintos, que permita melhorar a gestão dos fluxos de trabalho.

Alguns estudos têm sido realizados no âmbito da implementação de *Location-Based Management* (LBM), e vêm apontando os benefícios na etapa de controle da produção, como é o caso dos estudos de Seppänen e Kankainen (2004), que realizaram a análise do processo de controle da produção de seis projetos, e de Kala *et al.* (2012) que utilizou tal abordagem em um projeto na Califórnia para melhorar o controle da produção. Entretanto, poucos estudos focaram na integração do LBM com outras abordagens a fim compensarem um a falha do outro. Nesse sentido, o estudo de Seppänen, Ballard e Pesonen (2010) buscou por meio de diferentes fontes de evidência, principalmente informações advindas de um caso real de uma empresa que tem utilizado o LPS e o LBM em conjunto, apresentar de forma geral como os aspectos de cada uma destas abordagens podem ser combinados a fim de melhorar a performance do projeto. Entretanto, neste trabalho mencionado não foram implementados em casos reais a integração dos processos proposta, e conseqüentemente não foi realizada uma discussão mais profunda a respeito da problemática envolvida nesta integração e de todos os demais aspectos relacionados ao LBM e LPS. O trabalho de Olivieri (2016) propôs um modelo integrado que incorpora à abordagem tradicional, *Critical Path Method* (CPM), os aspectos do LBM e do LPS. A partir da análise do sistema de PCP de duas empresas, o autor propôs o modelo, o qual foi testado em duas simulações a partir de fatos já acontecidos. Além do modelo dar ênfase à abordagem tradicional CPM, o foco de tal solução está principalmente nos aspectos relacionados ao planejamento de longo prazo. O referido autor aponta que para melhor avaliar o modelo, este deveria ser utilizado em situações reais práticas em conjunto com conceitos mais avançados da filosofia *lean*. Assim seria possível ampliar a perspectiva para ser possível de realizar a integração de tais abordagens. Ambos os trabalhos mencionados apontam que apesar dos

estudos empíricos mostrarem que a abordagem de PCP baseada em zonas de trabalho possui uma boa aplicabilidade, ainda são necessárias mais pesquisas que busquem a integração entre a abordagem de PCP baseada em zonas de trabalho e o LPS, visto que um pode compensar a falha do outro. Além disso, ambos os estudos não consideraram os potenciais que a adoção de BIM possui para auxiliar no processo de PCP.

Dave *et al.* (2015) apontam que o LPS é muitas vezes implementado com a utilização do diagrama de Gantt para os planos de longo prazo. Diante disso, os autores mencionados afirmam que há a necessidade de pesquisas a respeito de uma abordagem mais robusta e que dê suporte aos aspectos críticos de planejamento citados. Nesse âmbito, a integração da abordagem de planejamento e controle baseada em zonas de trabalho e do LPS é identificada como uma potencial solução a ser investigada, visto que ainda existem falhas no papel que desempenha cada um dos planos de curto, médio e longo prazo e suas interfaces com os cronogramas baseados em zonas de trabalho, que não são totalmente compreendidas ou explicadas (DAVE *et al.*, 2015).

Segundo Dave *et al.* (2013), a utilização de BIM contribui diretamente para os objetivos da construção enxuta, o que aponta para uma oportunidade de melhoria na construção. Alguns trabalhos focam no desenvolvimento de modelos BIM para planejamento (RUSSELL *et al.* 2009; MOON *et al.* 2014; WANG *et al.* 2014), entretanto esses modelos utilizam como base redes CPM, não considerando informações suficientes relativas ao contexto espacial e a complexidade da construção (JONGELING; OLOFSSON, 2007).

Jongeling e Olofsson (2007) apontam que pesquisas devem ser realizadas no âmbito da associação do uso da linha de balanço com BIM 4D, a fim de planejar e gerir o uso do espaço como parte da gestão do fluxo de trabalho da construção. Salienta-se nesse caso a importância de definir os níveis de desenvolvimento (LOD) dos elementos do modelo, que diz respeito ao grau de detalhamento da geometria e das demais informações inseridas nos elementos do modelo (BIMFORUM,2016), para que se tenha a informação suficiente para atender as demandas dos usuários do modelo 4D. Hooper (2015) afirma que ainda é necessário explorar maneiras alternativas para integrar o nível de desenvolvimento do modelo (LOD) ao sistema de modelagem progressiva do modelo, que visa o detalhamento gradual do modelo, visto que o LOD deve dar suporte à ele. O referido autor acrescenta que há uma falta de conhecimento em se tratando de como utilizar o LOD a fim de que o modelo tenha todas as informações suficientes para o seu uso.

Visto que ainda existem lacunas na prática e na pesquisa em se tratando de métodos de planejamento e controle e como estes são aplicados em projetos de construção (DAVE *et al.*, 2015), surge a necessidade de uma abordagem de PCP que considere os conceitos e princípios da Produção Enxuta e que trate os aspectos críticos do planejamento da construção, como o fluxo de trabalho, a integração entre níveis de planejamento e a geração de valor (SACKS, 2016).

Portanto, nota-se a necessidade de desenvolver estudos sobre métodos de PCP que considerem a natureza parcialmente repetitiva da atividade de construção, que considerem aspectos relacionados à gestão de fluxos de trabalho, e que busquem o apoio de BIM como meio para visualizar espacialmente os planos de produção e obter informações melhor fundamentadas e consistentes.

1.3 MOTIVAÇÃO

O desenvolvimento desta pesquisa foi motivado, inicialmente pelo envolvimento do pesquisador em um estudo exploratório realizado na disciplina intitulada Gestão Integrada de Projetos e BIM do PPGCI-UFRGS. Este estudo teve como escopo a utilização e identificação das potencialidades de um *software* que adotava a abordagem baseada em zonas de trabalho para Planejamento e Controle da Produção (PCP). Consequentemente, o interesse do pesquisador pelo assunto aumentou e assim o estudo impulsionou o desenvolvimento deste trabalho.

Outro fator que incentivou o pesquisador para realizar este trabalho foi a experiência prática anterior com planejamento e controle, na qual percebeu uma série de falhas nos sistemas tradicionais de PCP, frequentemente apontados na literatura. Com isso, surgiu o interesse em desenvolver ferramentas e técnicas que tornem mais eficazes o planejamento e controle dos empreendimentos da construção, de forma a apoiar e fundamentar a tomada de decisão. Considerando os grandes potenciais e avanços alcançados com a utilização de BIM, torna-se igualmente importante a investigação da sua utilização associada ao PCP.

Somando-se a estas motivações, a parceria entre o grupo de pesquisa do Núcleo Orientado para Inovação da Edificação (NORIE/UFRGS) com duas empresas do ramo da construção civil (Empresa A e Empresa B), permitiu que fossem realizados estudos empíricos em contextos reais.

1.4 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no que foi exposto nos itens anteriores, foi definida a seguinte questão principal de pesquisa:

- a) Como planejar e controlar a produção de empreendimentos de construção com base em zonas de trabalho e com o suporte de BIM?

Como desdobramento da questão principal, foram definidas as seguintes questões secundárias:

- a) Quais os conceitos e princípios fundamentais que sustentam o planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho?
- b) Como integrar o Sistema *Last Planner* com o planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho?

1.5 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em propor um método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM.

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

- a) Propor um mapa conceitual que relacione os conceitos e princípios fundamentais que sustentam o método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM.
- b) Propor formas de integração entre o método proposto com o Sistema *Last Planner*.

1.6 DELIMITAÇÕES

Apesar desta pesquisa ter uma forte relação com assuntos como a quantificação, orçamentação e controle de qualidade, estes temas são abordados de forma superficial no trabalho, a fim de permitir que o pesquisador construa o conhecimento necessário para permitir fazer conexões com o escopo deste trabalho.

Além disso, os estudos realizados nesta pesquisa se limitaram a empresas do ramo da construção, atuantes no setor de empreendimentos residenciais que trabalham com empreendimentos com um certo grau de repetitividade. Logo, há limitações quanto à possibilidade de generalizar e aplicar o método e os conceitos discutidos neste trabalho em outros contextos.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além deste capítulo de introdução, em que são descritos a motivação, contexto, justificativa, problema de pesquisa, questões de pesquisa e os objetivos, este trabalho dispõe de mais 6 capítulos.

Os capítulos 2 e 3 abordam a revisão da literatura. O capítulo 2 aborda conceitos fundamentais da gestão da produção, técnicas de planejamento e controle, e foca-se principalmente na abordagem de planejamento e controle da produção baseada em zonas de trabalho. No capítulo 3, a revisão da literatura foca-se na aplicação de BIM para apoio à gestão da produção, apresentando uma visão geral a respeito de BIM, a descrição de usos de modelos BIM 4D para planejamento e controle da produção, e finalizando com uma análise das sinergias existentes entre BIM e os princípios *Lean* relevantes à esta pesquisa.

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

No capítulo 5 estão apresentados os resultados desta pesquisa, com a descrição detalhada das atividades realizadas durante os estudos. O capítulo 6 apresenta o método proposto, a avaliação da solução e as contribuições teóricas. Por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões da pesquisa, além de sugestão para trabalhos futuros.

2 SISTEMAS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este capítulo trata de conceitos relacionados à gestão da produção e técnicas de planejamento e controle da produção. O capítulo inicia com a revisão de conceitos fundamentais de gestão da produção, com o foco nos fluxos da produção, e segue para assuntos relacionados ao planejamento e controle da produção. Posteriormente, são descritas as diferentes abordagens e técnicas utilizadas para planejar e controlar a produção, sendo que o foco maior dado foi para a abordagem de PCP baseado em zonas de trabalho.

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE GESTÃO DA PRODUÇÃO

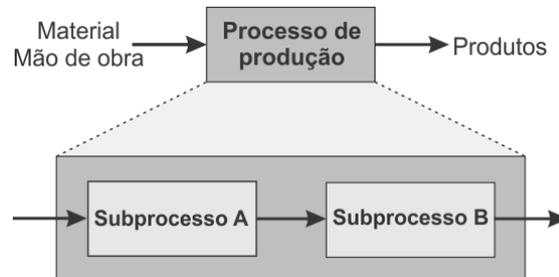
O Sistema Toyota de Produção (STP) é originário de um longo processo de tentativa e erro implementado pela Toyota para competir com a produção em massa, que já se encontrava consolidada nas indústrias automobilísticas americanas e europeias (SHINGO, 1989). Essa tentativa falha de alcançar os americanos acabou provocando mudanças fundamentais na gestão da produção (HOPP; SPEARMAN, 2000) e deu origem ao STP. Segundo Liker (2004), a filosofia de produção da Toyota é o produto de maior visibilidade desta sua busca por excelência. O STP, conhecido como Produção Enxuta (*Lean Production*) fora da Toyota, fornece meios para fazer mais com menos (menos equipamentos, esforço humano, tempo e espaço), ao mesmo tempo que busca se aproximar com exatidão das solicitações de fornecimento dos clientes (WOMACK; JONES, 2003). Nesse sentido, a Construção Enxuta (*Lean Construction*) é resultado de uma adaptação e transferência dos conceitos e princípios do Sistema Toyota de Produção ao contexto da construção. Estes princípios e conceitos da filosofia lean representam um importante referencial teórico para promover melhorias ao processo de PCP.

Na visão tradicional, denominado de modelo da transformação por Koskela (1992), o processo de produção é composto pela conversão de matéria-prima (*inputs*) em produtos (*outputs*). Conforme mostra a Figura 1, este modelo considera a produção total do processo, em que o processo de conversão pode ser divididos em subprocessos, também considerados como atividades de conversão, que devem ser analisados de forma isolada um dos outros (BALLARD, 2000; KOSKELA, 1992, 2000).

As abordagens de gestão da produção baseadas neste modelo têm sido incapazes de lidar com a incerteza existente nos empreendimentos de construção (BALLARD, 2000), além de não serem eficazes na identificação de atividades que não agregam valor (HENRICH; DOS SANTOS; KOSKELA, 2006). De

acordo com Koskela e Huovila (1997), este conceito básico de transformação, não explicita atividades que não são de transformação, o que dificulta o controle das atividades que não agregam valor.

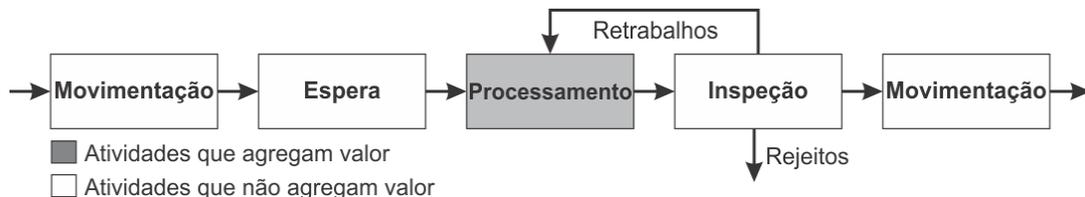
Figura 1 – Visão convencional de um processo de produção como um processo de conversão



(Fonte: adaptado de Koskela, 1992)

Na Produção Enxuta, considera-se que a produção é composta por atividades de conversão e de fluxo, sendo essas respectivamente, atividades que agregam e que não agregam valor (KOSKELA, 2000). Mesmo que as atividades de conversão são as que agregam valor ao processo, gerenciar as atividades de fluxo é essencial para aumentar o desempenho dos processos produtivos (KOSKELA, 2000). Essas atividades de fluxo, representadas nos retângulos brancos da Figura 2, são consideradas como perdas e devem ter sua parcela reduzida (KOSKELA, 2000).

Figura 2 – Produção como um processo de fluxo



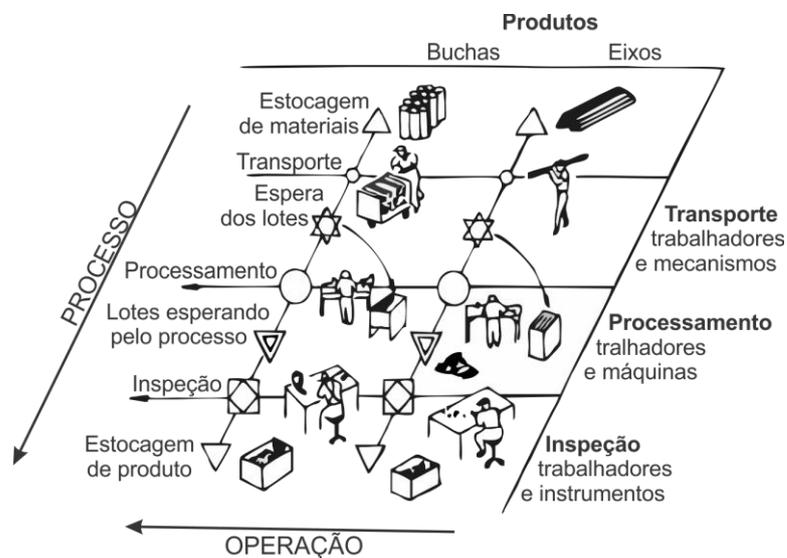
(Fonte: adaptado de Koskela, 2000)

Além da visão de transformação e fluxo, Koskela (2000) afirmam que a geração de valor é a terceira visão da produção. Esta visão busca atender às necessidades e expectativas do cliente, por meio da transformação dessas em requisitos. Nesse sentido, Koskela (2000) em sua teoria TFV (transformação – fluxo – valor), identifica que os três conceitos são complementares e focam em certos aspectos da produção: o conceito de transformação está relacionado à adição de valor pela transformação, o conceito de fluxo está relacionado às atividades que não agregam valor, e o conceito de geração de valor está relacionado ao controle da produção do ponto de vista do cliente.

Sempre que se deseja promover melhorias ao processo de produção, é importante distinguir o fluxo do produto (processo) do fluxo de trabalho (operação) e analisá-los separadamente (SHINGO, 1989). Sempre que é observado um processo, observa-se o fluxo de materiais ao longo do tempo e do espaço,

sendo esse fluxo dado pela transformação de matéria prima em componente semi-processado, e posteriormente em produto acabado (SHINGO, 1989). No que diz respeito às operações, observa-se o trabalho realizado para que tal transformação seja realizada, e a interação entre os operadores e equipamentos no tempo e no espaço (SHINGO, 1989). Esta estrutura da produção é chamada de mecanismo da função da produção por Shingo (1989), e a diferença entre estes conceitos é ilustrada na Figura 3, que mostra o fluxo dos produtos (processo) e o fluxo de trabalho dos trabalhadores e equipamentos (operação), sendo as melhorias aplicadas primeiramente ao processo seguidas pelas melhorias nas operações.

Figura 3 – Estrutura da produção



(Fonte: Shingo, 1989)

Nesse contexto, a adoção de um fluxo contínuo, diz respeito ao produto, no qual a produção de uma peça ou um lote pequeno de itens é realizada por vez, sendo que o item passa de um processo para o seguinte, sem interrupção (ROTHER; SHOOK, 1999). Como o produto da construção é estacionário, há a movimentação dos recursos até as zonas de trabalho (SLACK *et al.*, 2006). Por outro lado, o fluxo ininterrupto diz respeito às operações, visando que as equipes de trabalho, ou recursos, sejam utilizados ininterruptamente, na medida em que se movem continuamente de um local para outro e sem que tenham que ficar esperando por trabalho (HARRIS; IOANNOU, 1998).

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

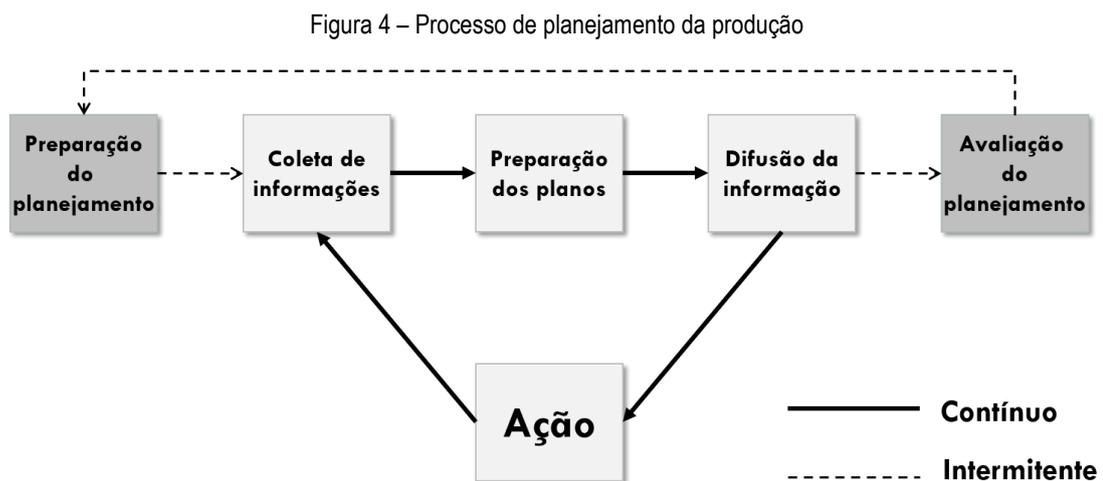
Ballard e Howell (1998b) afirmam que na construção, planejar é produzir metas, programações e outras especificações detalhadas dos passos a serem seguidos e das restrições a serem cumpridas ao longo da execução do empreendimento. Ainda, os referidos autores afirmam que assim que se começa a

produzir, os responsáveis pela gestão dedicam-se ao controle, monitorando o desempenho comparado às especificações, e realizando ações corretivas quando necessário.

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

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

Ainda, os mesmos autores definem a dimensão horizontal do processo de planejamento que compreende cinco fases, representadas na Figura 4. O ciclo intermitente diz respeito a ocasião do término da construção ou de uma etapa importante da obra e do lançamento de novos empreendimentos, e o ciclo contínuo ocorre durante toda a etapa de produção.



(Fonte: adaptado de Laufer; Tucker, 1987)

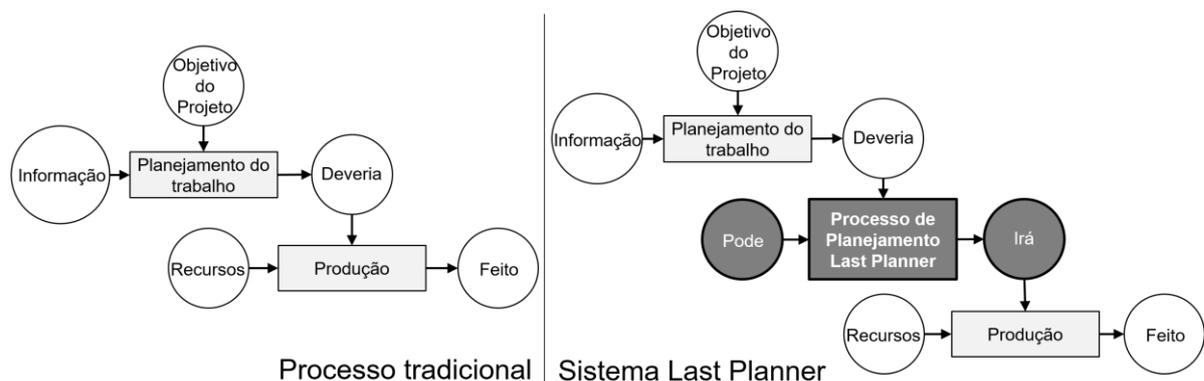
Ainda, o planejamento deve ser um processo hierarquizado a fim de permitir gerenciar a incerteza e a variabilidade presente (LAUFER; TUCKER, 1987). Os referidos autores dividem o processo de planejamento verticalmente, em uma hierarquia composta por três níveis: (a) nível estratégico, que está relacionado ao longo prazo, e diz respeito às decisões estratégicas para operar o sistema, como decisões relativas ao escopo e as metas; (b) o nível tático, relacionado a um nível intermediário, onde se identifica os meios, ou seja, os recursos e suas limitações; (c) e o nível operacional, que é relacionado ao curto prazo e diz respeito as ações que devem ser realizadas.

Nesse contexto, o grau de incerteza envolvido em cada um dos níveis está relacionado ao grau de detalhamento da informação. Sendo assim, em ambientes com maior incerteza, as atividades devem ser planejadas em uma etapa mais próxima a sua execução (FORMOSO *et al.*, 2001).

2.2.1 Sistema *Last Planner* (LPS)

As diferenças entre o sistema tradicional e o LPS podem ser observadas na Figura 5 que esquematiza os dois processos, que são explicados a seguir. O planejamento do trabalho possui informações do que deveria ser feito e tem como base os objetivos do projeto e as informações disponíveis (BALLARD, 2000). Nesse caso, o LPS pode ser entendido como um mecanismo de transformação do que deveria ser feito no que poderia ser feito, formando pacotes de trabalho que pode dar origem aos planos de trabalho semanais (BALLARD, 2000). Deste modo, esse sistema difere do processo tradicional, que já parte para a execução do plano (produção) a partir da definição do que deveria ser feito, assumindo assim, que todos os recursos necessários às atividades estarão disponíveis no momento em que a atividade for iniciar, sem verificar se o que realmente poderia ser executado (TOMMELEIN E BALLARD, 1997).

Figura 5 – Sistemas de planejamento tradicional e o Sistema Last Planner



(Fonte: adaptado de Ballard, 2000)

O LPS pode ser dividido em quatro níveis hierárquicos: (a) Planejamento de Longo Prazo; (b) Planejamento de Fases; (c) Planejamento de Médio Prazo; e (d) Planejamento de Curto Prazo (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012).

No planejamento de longo prazo, realizado nas fases iniciais do empreendimento, há um baixo grau de detalhamento, devido às incertezas relacionadas às durações e entregas (BALLARD; HOWELL, 1997). Logo, nesse nível identifica-se as datas marco, geralmente fortemente ligadas à contratos (TOMMELEIN; BALLARD, 1997), e os objetivos principais do projeto (LAUFER, 1997).

No planejamento de médio prazo, ou *look-ahead* como é chamado, o horizonte de planejamento é variável, sendo que a sua elaboração é realizada a partir do processo de triagem de quais atividades devem ser incluídas ou postergadas neste horizonte (TOMMELEIN e BALLARD, 1997). O plano de médio prazo é um elemento essencial para melhorar a eficácia do planejamento, visto que nesse nível deve-se identificar e eliminar as restrições, para que as atividades planejadas no nível de curto prazo sejam

efetivamente executadas (BALLARD, 2000). A eficácia do planejamento de médio prazo pode ser medida pelo índice de remoção de restrições (IRR), que é a relação entre as restrições removidas e as identificadas.

Na fase de planejamento de curto prazo, os funcionários da obra são envolvidos em discussões, de modo que o planejamento seja realizado de forma colaborativa (BALLARD; HOWELL, 1994). O plano de curto prazo é o mais detalhado, e pacotes de trabalho semanais são definidos a serem executados por cada equipe. Mais do que capaz de comprometer as equipes com o trabalho, o plano de curto prazo envolve o nível operacional, permitindo que as partes interessadas saibam das interdependências entre as atividades (VIANA, 2015). Logo, manter o comprometimento com o planejado, ao mesmo tempo que se aprende a planejar é uma forma de buscar um ambiente de trabalho estável (BALLARD; HOWELL, 1998). Koskela, Stratton e Koskenvesa (2010) afirmam que o LPS aumenta o comprometimento dos envolvidos, por meio de promessas explícitas do que deve ser realizado. Este comprometimento é avaliado ao final de cada ciclo semanal de planejamento, calculando o percentual de pacotes concluídos (PPC), que representa a relação entre o número de pacotes de trabalho planejados que foram executados e a quantidade total de pacotes planejados. Essa métrica pode ser utilizada para avaliar a confiabilidade do planejamento e pode auxiliar na busca pela melhoria deste processo (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

2.2.2 Projeto do Sistema de Produção (PSP)

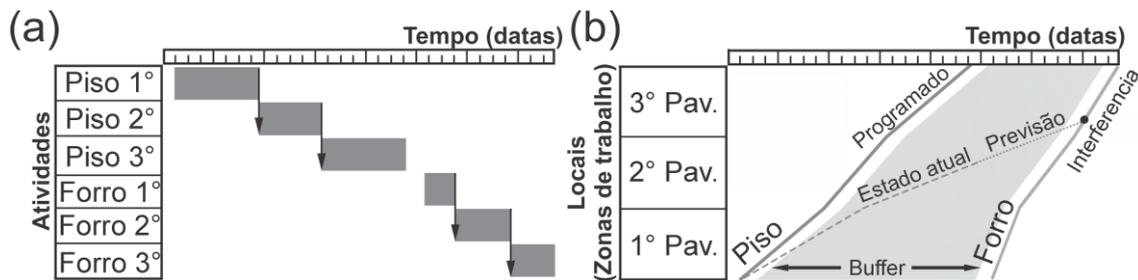
Na indústria da manufatura, o projeto do sistema de produção (PSP) é o estudo de alternativas para a produção, de modo que se escolha a estratégia mais apropriada para alcançar os objetivos do projeto (MEREDITH; SHAFER, 2009). Segundo Koskela (2000), o PSP possui três objetivos na construção: (a) entregar o projeto; (b) maximizar o valor; e (c) minimizar as perdas. Nesse sentido, Schramm (2004) afirma que dentre as alternativas de planejamento elencadas ao longo do planejamento do sistema de produção, uma deve ser escolhida como produto, e as demais devem ser armazenadas a fim de que possam ser utilizadas para replanejamentos. Sendo assim, o PSP representa uma oportunidade para minimizar o efeito da variabilidade na produção (BALLARD *et al.* 2001).

2.2.3 Diferentes abordagens de PCP

Os planos de empreendimentos de construção desenvolvidos podem ser apresentados, de maneira simplista, em duas formas: a tradicional, baseada em atividades, e a baseada em locais (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). Os métodos baseados em atividades têm como foco principal o desenvolvimento de planos para a análise de caminho crítico do empreendimento (Figura 6a), enquanto os métodos baseados

em locais possuem foco mais direcionado à produção das obras, analisando as folgas de tempo e espaço, disponibilidade de recursos, bem como, os locais onde as atividades irão ocorrer e possíveis interferências entre essas (Figura 6b) (OLIVIERI *et al.*, 2016a). Além disso, no cronograma baseado em zonas de trabalho é possível visualizar o ritmo de produção planejado, atual e previsto das tarefas (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Figura 6 – (a) Cronograma baseado em atividades e (b) baseado em zonas de trabalho



(Fonte: elaborado pelo autor)

Em se tratando do planejamento baseado em atividades, o trabalho é considerado uma série de pacotes de trabalho distintos, e o método não deixa explícito onde cada um desses é alocado fisicamente, não explicitando a relação entre os locais de atividades distintas (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). Logo, apesar do método CPM não explicitar visualmente onde o trabalho é realizado, as atividades ou pacotes de trabalho podem conter informações a respeito dos locais em que ocorrem, da mesma forma que a abordagem baseada em locais utiliza atividades alocadas a zonas de trabalho para compor o planejamento.

2.2.4 Comparação entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho

Com base em toda a revisão da literatura deste trabalho, e principalmente com base nos trabalhos de Lowe *et al.* (2012), Olivieri (2016) e Olivieri *et al.* (2018), e foi criado um quadro comparativo a fim de resumir e comparar as informações referentes ao método CPM e ao Planejamento e Controle da Produção baseado em zonas de trabalho. Nas Figura 7 e Figura 8, são comparados os métodos lado a lado sob o ponto de vista de diversos pontos: (a) representação gráfica mais usual – diz respeito a forma como é apresentada as informações referentes aos planos; (b) foco principal – aborda os objetivos principais buscados pelo método; (c) zonas de trabalho – apresenta a maneira como o método aborda a alocação das atividades e tarefas em um local; (d) atividades/tarefas – o que o conceito de atividade e tarefa representa no método; (e) quantidade de atividades/tarefas nos planos – descreve qual o reflexo da forma de decomposição dos planos adotada pelo método no que diz respeito a quantidade de atividades/tarefas; (f) ritmo das atividades – descreve a possibilidade ou não de visualmente identificar o ritmo no plano e como os ritmos podem ser ajustados; (g) visualização dos fluxos – descreve se os planos

podem ser observados sob a ótica do fluxo de processos e operações; (h) duração e quantitativos – descreve se as durações estão ou não em função dos quantitativos nos planos e se as durações estão ou não em função destes; (i) recursos – descreve se o método permite obtenção de fluxo ininterrupto e se os recursos são levados em conta ao tentar melhorar o planejamento; (j) links lógicos – descreve o reflexo do tipo de lógica adotada pelo método na quantidade de links lógicos; (k) uso de *buffers* – aborda como os *buffers* são adotados e inseridos nos planos; (l) nível de detalhe do plano – descreve como a quantidade de informações apresentadas no plano influencia a interpretação do mesmo; (m) controle da produção – descreve o papel principal do controle e se o andamento das atividades pode ser visualizado no plano; (n) simulação de alternativas de plano – descreve a facilidade ou não de gerar planos alternativos ; (o) projetos repetitivos e não repetitivos – aborda se o método é adequado ou não para projetos repetitivos e não repetitivos.

Figura 7 – Primeira parte do quadro comparativo entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho

	Critical Path Method (CPM)	PCP baseado em zonas de trabalho
Representação gráfica mais usual	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gráfico de Gantt ▪ Atividades são representadas em forma de barras sobre uma linha do tempo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Linha de balanço (Flowline) ▪ Atividades são representadas em forma de linha ou retângulos sobre uma linha do tempo (eixo X) e são alocadas em zonas de trabalho onde ocorrem (eixo Y)
Foco principal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análise do caminho crítico ▪ Duração das atividades ▪ Redução da duração total do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Foco na gestão dos recursos e no fluxo de trabalho ▪ Busca obter fluxo ininterrupto e reduzir interrupções das tarefas
Zonas de trabalho (Locais)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não são considerados de forma direta ▪ Podem ser um parâmetro para decomposição de uma em mais atividades para suprir a necessidade do planejamento ▪ Podem existir atividades sendo executadas em um mesmo local e isso não é explicitado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ São explicitados, considerados de forma direta e são a base do planejamento ▪ As zonas de trabalho devem ser pequenas o suficiente para que não tenha mais de uma atividade acontecendo em um mesmo local
Atividades / Tarefas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atividades consomem uma quantidade de tempo nos cronogramas e podem ter recursos associados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uma tarefa é considerada um conjunto de atividades similares que acontecem em locais distintos ▪ Uma atividade pode ser considerada uma tarefa que acontece em um único local
Quantidade de elementos (atividades) nos planos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelo fato de atividade similares serem replicadas em cada um dos diferentes locais em que deve acontecer, os cronogramas acabam possuindo uma grande quantidade de elementos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Como o método considera que uma tarefa é um conjunto de atividades que acontecem em locais distintos, a representação se torna simplificada
Ritmo das atividades	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não é possível de ser visualizado no cronograma, a menos que se organize as atividades de forma que permita esta visualização ▪ Para ajustar o ritmo das atividades é necessário modificar a duração das atividades 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cronograma permite visualizar os ritmos das atividades a partir do ângulo de inclinação da tarefa ▪ Permite otimizar o fluxo de trabalho por meio do ajuste dos ritmos de produção (modificando as inclinações) ▪ Para ajustar o ritmo das atividades é necessário modificar a composição ou o número de equipes, ou então modificar a produtividade

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 8 – Segunda parte do quadro comparativo entre o método CPM e o PCP baseado em zonas de trabalho

	Critical Path Method (CPM)	PCP baseado em zonas de trabalho
Visualização dos fluxos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Não considera aspectos referentes ao fluxo de trabalho ▪ O Gantt permite por meio de filtros e pela organização do cronograma visualizar os processos (fluxo do produto) ou operações (fluxo dos recursos) específicos, o que é trabalhoso e não permite visualizar ambas perspectivas ao mesmo tempo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A utilização da linha de balanço permite visualizar tanto os processos quanto as operações de forma simultânea e isso é visualizado sem a necessidade de nenhuma alteração do cronograma
Duração e quantitativos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geralmente somente a duração é inserida e ela não está em função dos quantitativos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A duração é dada pela divisão dos quantitativos de cada zona de trabalho pela produtividade da equipe ▪ As durações podem ser consideradas um resultado do processo de planejamento
Recursos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Podem ser utilizados nas restrições lógicas do caminho crítico ▪ Apresenta dificuldade em estabelecer fluxo ininterrupto dos recursos no plano e conseqüentemente pode não analisar os recursos ao melhorar o planejamento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geralmente são considerados nas atividades mais críticas ▪ São analisados na tentativa de melhorar o cronograma, quando os ritmos são ajustados ▪ Busca a obtenção do fluxo ininterrupto dos recursos ao longo das zonas de trabalho
Links lógicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sequência lógica de dependência entre atividades (rede) ▪ Como possui uma lógica entre atividades, e a quantidade de atividades geralmente é considerável, possui uma grande quantidade de links lógicos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Possui 5 tipos de lógica, que simplificam o trabalho de vinculação entre as tarefas e atividades, sendo um destes tipos, a lógica do método CPM ▪ Possui uma quantidade menor de links lógicos quando comparado com o CPM, tendo em vista a replicação dos links lógicos gerada pelos diferentes tipos de lógica
Uso de buffers	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buffers geralmente estão presentes dentro da duração das atividades ou entre atividades críticas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ São explícitos e inseridos entre atividades ▪ São utilizados para proteger relações e fluxos de trabalhos críticos
Nível de detalhe do plano	<ul style="list-style-type: none"> ▪ É flexível, sendo que planos altamente detalhados geram gráficos difíceis de serem interpretados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planos muito detalhados (com uma grande quantidade de tarefas) podem ser difíceis de serem visualizados, mas por meio do agrupamento de tarefas permite que se visualize apenas as tarefas necessárias, permitindo gerar diferentes visualizações do mesmo plano
Controle da produção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite controlar o andamento das atividades ▪ Permite visualizar o impacto do andamento das atividades no prazo do projeto 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permite analisar o desvio de ritmo das atividades ▪ Se utilizada a representação em forma de linha, pode-se utilizar diferentes estilos de linha (contínua, tracejada e pontilhada) para representar o planejado, o real executado e a tendência ▪ As linhas de tendência permitem verificar o impacto do andamento das atividades no prazo do projeto.
Simulação de alternativas de planejamento	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Demanda mais tempo para manipulação e alteração dos parâmetros de planejamento visto a maior quantidade de atividades e a lógica presente no método 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendo em vista a utilização de tarefas (conjunto de atividades) e a lógica presente no método, o estudo de alternativas se torna mais rápido e fácil quando comparado ao método CPM.
Projetos repetitivos e não repetitivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pode ser utilizado em qualquer situação, mas possui deficiência em considerar aspectos de projetos repetitivos, o que pode tornar o planejamento extenso e mais complexo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Como tem como base para o planejamento os locais uma tarefa compõem um conjunto de atividades, a visualização de projetos repetitivos se torna ideal, além da lógica presente reduzir a quantidade de trabalho para vinculações entre tarefas ▪ Possui dificuldade em planejar projetos com baixa repetitividade

(Fonte: elaborado pelo autor)

2.2.5 Técnicas de planejamento

2.2.5.1 Linha de balanço

Em 1940, a empresa Goodyear deu origem a técnica denominada de linha de balanço (*line of balance*), que foi posteriormente desenvolvida na década de 1950 pela Marinha Americana para planejar e controlar projetos repetitivos (YANG; IOANNOU, 2004). Segundo Arditi, Sikangwan e Tokdemir (2002), a linha de balanço é uma ferramenta para planejar e controlar projetos de construção repetitivos, como prédios altos, túneis e rodovias. Ainda, o conceito da linha de balanço é baseado na definição de um ritmo de produção, como, por exemplo, o número de unidades devem ser completas em uma semana (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010) em um dia, ou em um intervalo definido, para a entrega ser alcançada (LUMSDEN, 1968). Como o ritmo de entrega é assumido constante, a relação entre locais (eixo Y) e tempo (eixo X) é linear (ARDITI; SIKANGWAN; TOKDEMIR, 2002). Segundo os referidos autores, uma das limitações da linha de balanço é a dificuldade de utilizá-la em empreendimentos que possuem um grande número de processos distintos, visto que a representação de todos estes pode diminuir a facilidade de entendimento do plano.

2.2.5.2 Linha de fluxo (*Flowline*)

A *flowline*, denominada no presente trabalho de linha de fluxo, é um termo definido por Mohr (1979) que consiste em uma derivação da forma de representação da linha de balanço, na qual as tarefas são representadas por meio de uma linha ao invés de retângulos. A linha de fluxo representa a movimentação das equipes ao longo do tempo e das zonas de trabalho e é o principal meio de visualizar os cronogramas da abordagem baseada em zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). No eixo X de um plano é representado o tempo (em forma de calendário), e no eixo Y, as zonas de trabalho. Sobre este plano X-Y, são representadas as tarefas por meio de linhas (MOHR, 1991). O conceito de fluxo, requer que as atividades sejam completadas em sequência e que os recursos fluam continuamente de zona para zona de trabalho (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014).

Assim, o nome linha de fluxo é justificado pelo fato de a linha representar o fluxo da produção ao longo das zonas de trabalho, além de sua representação em forma de linha permitir identificar o ritmo de produção da tarefa. Kenley e Seppänen (2010) afirmam que esta representação em forma de linha permite a visualização mais clara quando comparada a linha de balanço mais usual. Entretanto, por ser uma linha, a extensão do trabalho não é visualizada, mas a sua representação gráfica permite não só inserir informações referentes ao planejamento, como também informações referentes ao controle da produção.

Além disso, a linha de fluxo permite quebrar o projeto em zonas de trabalho de tamanhos ou volumes de trabalho semelhantes, podendo ser utilizada em empreendimentos que não são repetitivos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Nas situações em que há uma quebra no fluxo da produção, a linha é interrompida e permite identificar tal situação visualmente. Em determinadas situações, o ritmo pode ser assumido diferente para zonas de trabalho distintas, permitindo identificar onde o ritmo de produção é mais ou menos acelerado (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

2.2.5.3 *Takt-Time Planning* (TTP)

Takt é uma palavra alemã para designar o compasso de uma composição musical, e foi introduzida no Japão com o sentido de “ritmo de produção” (SHOOK, 1998). Segundo Alvarez e Antunes Júnior (2001), *takt-time* é o ritmo de produção necessário para atender a uma demanda considerada, dadas as restrições de capacidade presentes na célula ou linha, podendo ser entendido como o tempo que rege o fluxo dos materiais em uma célula ou linha. Corroborando com essa ideia, Frandson, Berghede e Tommelein (2013) afirmam que *takt-time* é a unidade de tempo, dentro da qual um produto deve ser produzido (taxa de fornecimento) para coincidir com a taxa em que esse produto é demandado (taxa de demanda). Para Frandson e Tommelein, (2014), TTP é um método de estruturar o trabalho, de modo que o projeto do sistema de produção tenha fluxo contínuo. Nesse sentido, Sacks *et al.* (2017), afirma que o TTP enfatiza a continuidade do trabalho em cada local, dando prioridade ao fluxo contínuo em detrimento ao fluxo ininterrupto. O objetivo é fazer um plano de produção que forneça um fluxo de trabalho balanceado para um determinado escopo, o que abrange geralmente uma fase da construção. Ser balanceado significa criar um ritmo de trabalho estável e que corresponda a taxa de demanda (FRANDSON; SEPPÄNEN; TOMMELEIN, 2015). Sendo assim, é necessário que as diferentes equipes finalizem o seu trabalho na zona designada na quantidade de tempo definida pelo *takt-time* (FRANDSON; SEPPÄNEN; TOMMELEIN, 2015).

Frandson, Seppänen e Tommelein (2015) afirmam que TTP é um processo participativo e necessita de colaboração entre os membros das equipes para que o plano seja desenvolvido de forma a atender o projeto como um todo. Ainda, os referidos autores descrevem que os membros da equipe devem comunicar os seus requisitos individuais relacionados ao sistema de produção e em seguida a equipe trabalha de forma iterativa para identificar a sequência mais adequada, as zonas de trabalho e a duração do trabalho ao longo destas. Entretanto, se observa que o TTP não aborda o trabalho padronizado como meio necessário para que a sincronização aconteça e não adota o conceito de produção puxada.

Por fim, Frandson, Berghede e Tommelein (2013) descrevem o processo do TTP em seis etapas: (a) coleta de dados; (b) definição das zonas de trabalho e do *takt-Time*; (c) identificação do sequenciamento

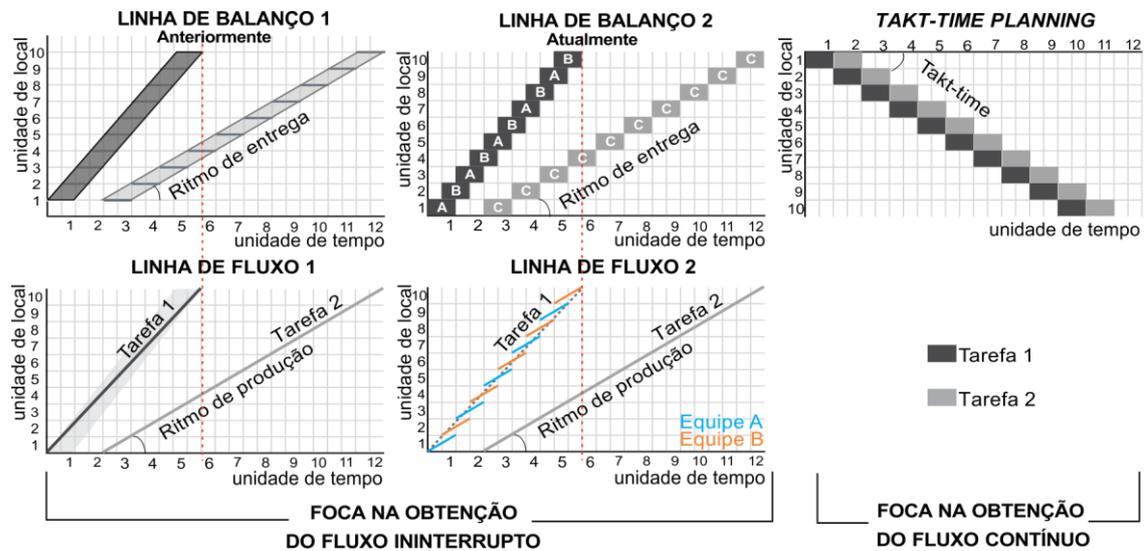
das diferentes especialidades; (d) balanceamento do fluxo de trabalho; (e) determinação da duração de cada uma das especialidades; e (f) finalização do planejamento da produção.

2.2.5.4 Comparação das ferramentas utilizadas para planejamento

Biotto *et al.* (2017) comparam as três diferentes ferramentas baseadas em locais utilizadas para planejar empreendimentos de construção (linha de balanço, linha de fluxo e *takt-time planning*). A principal diferença do *takt-time planning* em relação as demais é que se busca o fluxo contínuo a partir do balanceamento do ritmo de produção das diferentes especialidades, a fim de atender o ritmo de demanda estabelecido ao longo das zonas de trabalho (FRANDSON; BERGHEDE; TOMMELEIN, 2013). Por outro lado, apesar da linha de balanço e da linha de fluxo permitirem que se busque um fluxo contínuo, o foco, como apresentado anteriormente, é obtenção do fluxo ininterrupto das equipes. Ainda, o TTP adota um ritmo de produção único para as atividades, ditado pelo *takt-time*, a fim de reduzir o trabalho em progresso (FRANDSON; SEPPÄNEN; TOMMELEIN, 2015), enquanto as demais técnicas citadas estão preocupadas com a utilização dos recursos, sem descontinuidade no fluxo ao longo das zonas de trabalho, e com a possibilidade de ritmos variáveis em diferentes zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Em relação aos *buffers*, o TTP incorpora estes dentro da capacidade de produção das equipes, sendo o tempo de ciclo das atividades menor do que o *takt-time*, em um contraponto com as demais (linha de balanço e linha de fluxo) que geralmente inserem *buffers* entre atividades críticas (FRANDSON; SEPPÄNEN; TOMMELEIN, 2015).

A comparação visual entre as três ferramentas, utilizadas para visualização dos planos, é apresentada na Figura 9, a qual mostra duas linhas de balanço e duas linhas de fluxo com diferentes formatos de visualização, e como é representado o plano resultante do *takt-time planning*. No que diz respeito a inclinação da linha de balanço e da linha de fluxo, dependendo de onde se inicia e se finaliza a linha, é possível obter o ritmo de entrega ou o ritmo de produção. O ritmo de entrega é representado por uma linha que liga a conclusão da primeira unidade com a conclusão da última, enquanto o ritmo de produção liga o início da tarefa na primeira unidade, até a conclusão da última unidade (SU; LUCKO, 2015). Logo, a linha de balanço geralmente representa o ritmo de entrega, enquanto a linha de fluxo representa o ritmo de produção (SU; LUCKO, 2015). No *takt-time planning*, a inclinação representa o *takt-time*. Uma comparação entre as três diferentes ferramentas descritas é apresentada na Figura 10.

Figura 9 – Comparação visual entre diferentes ferramentas de planejamento para a construção



(Fonte: Biotto *et al.*, 2017)

Figura 10 – Comparação entre diferentes ferramentas de planejamento para a construção

	Linha de balanço	Linha de fluxo	Takt-Time Planning
Visualização do fluxo de trabalho das equipes	Anteriormente não, só era possível visualizar o ritmo de entregas. Atualmente sim, visto que podem ser identificadas as diferentes equipes.	Depende do nível de detalhe do plano. Na linha de fluxo 2 é possível verificar a equipe A e B se movendo locais ao mesmo tempo pelas zonas de trabalho.	Parcial (equipes podem trabalhar em dois níveis).
Visualização da tarefa	Anteriormente: duas linhas paralelas Atualmente: retângulos	Uma linha	Retângulos
Duração da atividade por zona de trabalho	Quantitativos da zona de trabalho dividido pela produtividade padrão da equipe.	Quantitativos da zona de trabalho dividido pela produtividade padrão da equipe.	Igual ou menor ao takt-time.
Representação da tarefa	Anteriormente: data de início e término da primeira e da última unidade. Atualmente: datas de início e término de cada unidade.	Linhas começam na data de início da primeira unidade e terminam na data de término da última unidade.	Datas de início e término por unidade.
Uso de buffers	Buffers entre atividades críticas ou dentro da duração do pacote de trabalho.	Buffers entre atividades.	Buffer dentro da duração do pacote de trabalho: diferença entre o takt-time e o tempo de ciclo.
Atingir o ritmo por meio do balanceamento das linhas	Adicionar ou reduzir o número de equipes para executar uma atividade; Mudar a composição da equipe e a quantidade de serviço dentro do pacote de trabalho.	Mudar o número ou a composição das equipes; Mudar a produtividade.	Mudar a composição das equipes e o montante de serviços dentro do pacote de trabalho; Distribuir o volume de trabalho entre os membros da equipe; Pacotes de trabalho executáveis; Estabelecimento do trabalho padronizado.
Inclinação da linha representa	Ritmo de entrega (contagem feita a partir da finalização da primeira unidade)	Ritmo de produção	Takt-time: divisão do tempo de produção disponível pela demanda.
Nível de detalhe do plano	Flexível	Flexível	Alto em estágios iniciais
Colaboração	Varia de acordo com o nível do plano.	Varia de acordo com o nível do plano.	Altamente necessária para levantamento de dados de produção.

(Fonte: Biotto *et al.*, 2017)

2.3 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO

O *Location-Based Management* (LBM) é utilizado para planejamento e controle da produção, tem locais como base, utiliza a linha de fluxo como forma de visualização dos planos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010) e possui um grande foco no processo de controle da produção (OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016). Essa abordagem, serviu como ponto de partida para a abordagem, resultado desta pesquisa, que é denominada neste trabalho de Planejamento e Controle da Produção baseado em zonas de trabalho.

O objetivo do planejamento baseado em zonas de trabalho é de melhorar os fluxos de trabalho, de maneira que os trabalhadores não precisem esperar por trabalho e vice versa (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010), ao mesmo tempo que está relacionado a redução do trabalho em progresso, a fim de buscar aproximar-se de um fluxo contínuo (SACKS, 2016), e na adoção de lotes pequenos, a fim de facilitar o controle da produção e permitindo uma maior aprendizagem ao longo da etapa de controle (VALENTE *et al.*, 2014). O método ainda é baseado na movimentação dos recursos pelo canteiro de obras e tem como propósito maximizar o uso fluxo ininterrupto dos recursos, a produtividade e reduzir perdas e riscos (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014).

Alguns trabalhos apontam que os sistemas LBM e o LPS são complementares (DAVE; SEPPÄNEN; MODRICH, 2016; OLIVIERI, 2016; OLIVIERI; GRANJA; PICCHI, 2016; OLIVIERI; SEPPÄNEN; GRANJA, 2016; SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010; SEPPÄNEN; MODRICH; BALLARD, 2015), sendo que o LBM é utilizado para estruturar a informação e melhorar o processo de planejamento, permitindo acompanhar o progresso das tarefas e ainda ter um previsão do desempenho futuro, enquanto o LPS foca nos aspectos nos aspectos sociais do planejamento (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010), e pode permitir que os processos alcancem estabilidade básica por meio dos ciclos de aprendizagem e dos comprometimento com os planos (BALLARD, 2000).

As principais etapas envolvidas no planejamento baseado em zonas de trabalho apontadas por Kenley e Seppänen (2010) são descritas na sequência com o intuito de apresentar uma visão geral sobre todo o processo de planejamento. Primeiramente, os autores descrevem que se deve definir a estrutura hierárquica de zonas de trabalho, que serve como base para todo o planejamento, para então definir os quantitativos por zona de trabalho e criar as tarefas a partir destes. Nas tarefas deve-se definir as equipes ideais e as ligações lógicas entre as tarefas. Com isso, é possível analisar e melhorar o plano a partir do ajuste do ritmo de produção, do ajuste da sequência construtiva, e da quebra da continuidade e divisão das tarefas, quando necessário. Ainda se for de interesse dos envolvidos, pode-se avaliar o risco e custo

do sistema de produção e melhorar o mesmo se necessário, adicionando *buffers*, modificando o ritmo de produção e ajustando a sequência construtiva. Opcionalmente pode-se carregar o custo no cronograma e tentar melhorar o fluxo de caixa, a partir de modificações nos pagamentos, ritmos de produção e datas de início. Por fim, deve-se planejar os suprimentos, conceber e aprovar o cronograma. Salienta-se que as mudanças ao planejamento são realizadas apenas se necessário.

2.3.1 Zonas de trabalho

Na essência, o PCP baseado em zonas de trabalho prescreve a definição das zonas de produção (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010). Subtende-se nesta pesquisa, que zonas de trabalho se referem a um volume, espacialmente delimitado e bem definido, sendo esse, resultado da quebra do projeto em locais menores, para serem utilizados para planejar, analisar e controlar o trabalho na medida em que ele flui por estas zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). As zonas de trabalho têm um papel central no sistema de PCP baseado em zonas de trabalho e podem conter os seguintes tipos de dados associados (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009):

- a) Componentes ou objetos da construção, como elementos ou subsistemas;
- b) Quantidades planejadas e reais dos componentes da construção;
- c) Informações sobre a execução do sistema construtivo;
- d) Custos planejados e reais dos materiais;
- e) Custo do sistema construtivo.

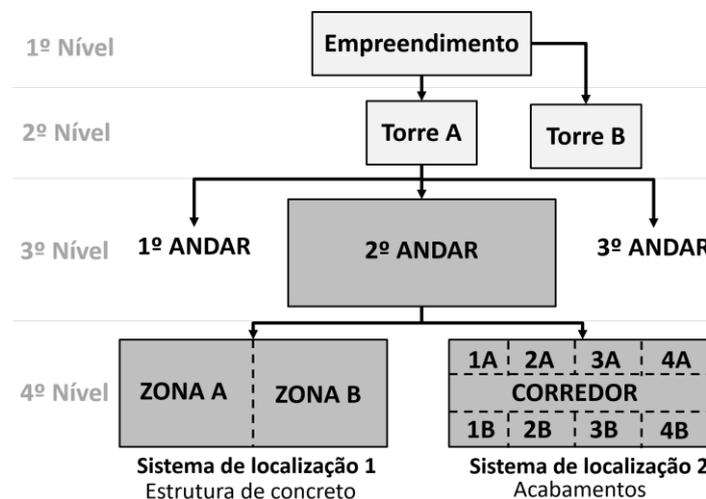
Segundo Kenley e Seppänen (2010), é possível que o projeto seja desmembrado de diferentes maneiras. Esse desmembramento da origem a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, onde um nível maior inclui de forma lógica todos os níveis menores de zonas de trabalho. Cada hierarquia possui um propósito diferente, sendo que o nível mais alto é usado para analisar o sequenciamento da construção. Nesse nível, as estruturas são independentes em cada zona de trabalho, permitindo que essas sejam executadas em qualquer sequência ou até em paralelo (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Em um nível intermediário, as zonas são usadas para planejar o fluxo de execução da estrutura, e normalmente refletem as restrições físicas. Já nos níveis mais baixos, as zonas de trabalho devem ser aplicáveis à maioria das especialidades em execução em uma determinada fase, e pequenas o suficiente de forma que apenas uma especialidade pode efetivamente estar trabalhando no local. Nesse nível deve ser possível de planejar e controlar os detalhes e acabamentos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Antes mesmo de iniciar o desenvolvimento do planejamento, deve-se definir a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010). Além disso, definir a estrutura

hierárquica é uma decisão crítica ao planejamento, visto que ela impacta nos quantitativos, na quantidade de relações lógicas do cronograma do projeto, bem como na variação dos quantitativos entre as zonas de trabalho (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014).

O *software* adotado neste trabalho, o Vico Office (2016), permite que na situação de uma Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho não atender a execução de todas as tarefas, pode-se definir diferentes sistemas de localização. Nesse caso, divide-se o mesmo espaço físico em mais de uma configuração, criando assim estruturas hierárquicas distintas abaixo do nível em que foram definidos os sistemas de localização. Logo, cada tarefa deve ser alocada a um sistema de localização (VICO OFFICE, 2016). O conceito de sistemas de localização é ilustrado na Figura 11, na qual apenas uma hierarquia não atende as necessidades de produção de duas fases da obra distintas. Logo, o andar (3º nível) foi dividido ao meio para a execução da estrutura de concreto e segundo o seu *layout* para a execução dos acabamentos. Apesar dos sistemas de localização permitirem esta flexibilidade, a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho apresenta uma certa rigidez em comparação com o Sistema *Last Planner*.

Figura 11 – Sistemas de localização



(Fonte: adaptado de Vico Office, 2017)

2.3.2 Tarefas e atividades

Neste trabalho, uma tarefa é considerada a agregação de todas as atividades do mesmo tipo que se repetem em múltiplas zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009), e contém informações relativas a produção do empreendimento, particularmente informações a respeito de recursos, tempo e custo. Logo, uma tarefa que acontece em uma única zona de trabalho é considerada uma atividade (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Ainda, todas as atividades relacionadas à uma tarefa possuem requisitos comuns relacionados aos recursos, mas as quantidades, equipes e produtividade variam de acordo com cada zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). Cada tarefa deve alocada a um nível hierárquico da

estrutura hierárquica de zonas de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010), como no exemplo da Figura 11, na qual as atividades relacionadas a estrutura de concreto e os acabamentos foram alocados no 4º nível. Estas tarefas podem conter os seguintes tipos de dados (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009): (a) dados de produção padrão (taxas de consumo ideais para equipes e recursos); (b) demandas dos recursos planejados e consumo real dos recursos para a tarefa; (c) equipes de trabalho; (d) restrições lógicas; (e) pré-requisitos para produção; (f) desempenho e previsão.

Segundo (KOSKELA, 2000), existem pelo menos sete fluxos ou condições relacionadas aos recursos, que de forma conjunta levam a concluir com êxito uma tarefa. O referido autor afirma que além da possibilidade de esquecer de considerar um desses fluxos, eles possuem uma variabilidade relativamente alta. Estes fluxos referidos são: (a) projeto da construção; (b) componentes e materiais; (c) mão-de-obra; (d) equipamentos; (e) espaço; (f) trabalhos conectados; e (g) condições externas.

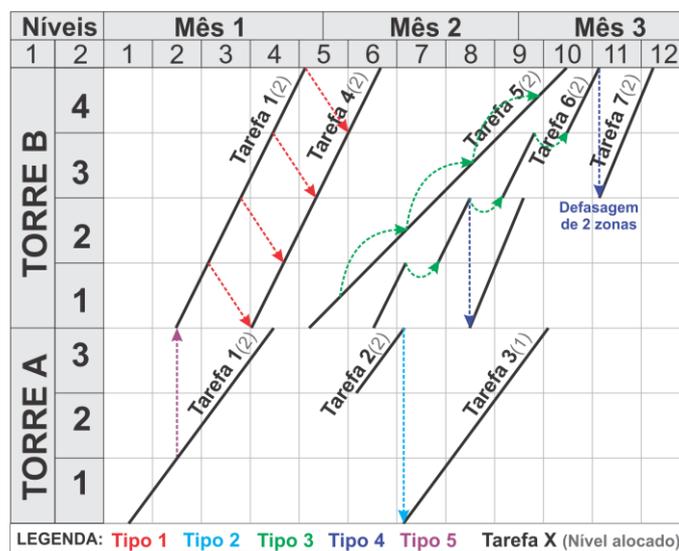
2.3.3 Relações lógicas entre tarefas e atividades

As relações lógicas de precedência entre as atividades são divididas e classificadas segundo cinco diferentes tipos, sendo estes de mesma importância e não hierárquicos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). A fim de elucidar a função de cada um destes diferentes tipos de relações de precedência, é apresentada a Figura 12, que exemplifica as relações lógicas em um exemplo hipotético contendo atividades alocadas a dois diferentes níveis na estrutura hierárquica de zonas de trabalho. Cada um dos tipos de relação lógica de precedência é descrito abaixo (KENLEY E SEPPÄNEN, 2010):

- a) **Relação lógica tipo 1:** relação lógica externa entre atividades ou tarefas dentro de uma mesma zona de trabalho. Nesse contexto, assume-se que a lógica em cada zona de trabalho é similar. Na situação de criar uma relação entre duas tarefas, essa relação é então copiada para cada uma das atividades em cada zona de trabalho.
- b) **Relação lógica tipo 2:** relação lógica externa de nível superior. Este tipo de relação lógica estende o tipo 1, enquanto relaciona tarefas que não possuem um mesmo nível de precisão. Nesse contexto, vale salientar que cada tarefa é alocada à um nível de precisão, que diz respeito ao nível mais baixo de localização que é importante para a tarefa.
- c) **Relação lógica tipo 3:** relação lógica interna. Esse tipo de relação lógica diz respeito às relações entre atividades dentro de uma tarefa. Este é um tipo de relação lógica crítico para garantir o fluxo ininterrupto dos recursos e do trabalho. Também considerado como lógica de fluxo, este tipo de relação lógica pode forçar a continuidade de uma tarefa.

- d) **Relação lógica tipo 4:** relações lógicas adicionais. Este tipo de relação lógica serve para modelar casos especiais de defasagem entre locais no sequenciamento lógico externo. Sendo assim, serve para relacionar, por exemplo, uma atividade que precisa de um pavimento de defasagem para começar.
- e) **Relação lógica tipo 5:** relação lógica padrão do método CPM. Este tipo de relação lógica permite estabelecer relações lógicas entre qualquer tarefa e zona de trabalho. Esta é normalmente aplicada entre tarefas, mas também pode ser aplicada internamente à essa.

Figura 12 – Relações lógicas



(Fonte: adaptado de Kenley e Seppänen, 2010)

2.3.4 Quantitativos

Segundo Seppänen (2009), a lista de quantitativos de um empreendimento explicita a quantidade de trabalho que deve ser realizada a fim de concluir a atividade de uma determinada zona de trabalho, para que a equipe possa dar sequência ao trabalho na próxima zona de trabalho (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Nesse sentido, é importante salientar que os quantitativos servem principalmente para estimar quantidades de material, mas não com exatidão visto que existem diversos fatores que influenciam a quantificação, além da variabilidade no consumo deste e nas perdas presentes nos processos (OTERO, 2000), que em determinadas situações não são facilmente identificadas e estimadas. Entretanto, pode-se também estimar a quantidade de equipamentos e mão-de-obra necessários. A estimativa das quantidades, nessa abordagem, deve ser feita após definida a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, de forma que se possa estimar os quantitativos por zona de trabalho. Segundo Kenley e Seppänen (2010), os itens que compõem a lista de quantitativos podem ser agrupadas em um pacote, se o trabalho: (a) pode ser realizado por uma única equipe, (b) possui a mesma dependência lógica fora

do pacote de trabalho e se (c) pode ser finalizado em uma zona de trabalho antes de avançar para a próxima.

Como os quantitativos podem ser distintos em cada zona de trabalho, e cada tarefa pode conter múltiplos itens com diferentes produtividades, essa abordagem não se restringe apenas a projetos repetitivos (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010).

2.3.5 Produtividade e consumo de recursos

Segundo Seppänen, Evinger e Mouflard (2014), o LBM busca o fluxo ininterrupto das equipes enquanto busca o aumento da produtividade e a redução do desperdício. A produtividade é considerada como a eficiência em transformar entradas em saídas num processo produtivo (SOUZA, 1998), podendo ser estudada sob o ponto de vista físico, onde se analisa o uso de materiais, equipamentos ou mão-de-obra (SOUZA, 2000).

Mais especificamente no contexto deste trabalho, a produtividade é considerada a relação de quantas unidades de medida são finalizadas por hora de recurso, e o consumo é a relação contrária, quantas horas de recurso são necessárias para finalizar uma unidade de medida (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). O consumo de trabalho é uma propriedade individual de cada item da lista de quantidades. A taxa de consumo indica a quantidade de tempo de homens ou máquinas necessárias para produzir uma unidade de medida de cada item. Estes valores de consumo podem ser baseados em dados históricos da empresa, ou até bancos de dados de produtividade genéricos (SEPPÄNEN, 2009). O consumo difere do ritmo de produção (unidades produzidas/unidade de tempo), visto que este último não necessita de informações a respeito do número de equipes ou duração dos turnos. Entretanto, o valor definido para o consumo deve ser baseado em uma composição otimizada da equipe, porque o consumo pode variar para diferentes tamanhos de equipes (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

A contribuição dos recursos para o esforço total da equipe pode variar. Logo, cada recurso deve ter um fator para sua produtividade individual, sendo que o fator de produtividade padrão é 1, visto que o trabalhador contribui com uma hora a cada hora trabalhada. Se o recurso for menos ou mais produtivo, esse valor difere de 1 (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

2.3.6 Durações

Kenley e Seppänen (2010), afirmam que os quantitativos por zonas de trabalho são necessários como ponto de partida para um planejamento que use esta abordagem. Segundo os mesmos autores, a duração em cada uma das zonas de trabalho pode ser calculada seguindo os seguintes passos: (a)

calcular a quantidade de horas de trabalho necessárias para concluir a zona de trabalho, que é dada pela multiplicação do quantitativo do item na zona de trabalho (unidades) pelo consumo (horas-homem/unidade); (b) dividir o resultado pela soma dos fatores de produtividade dos recursos, para se ter a duração em horas; (c) dividir pela duração do turno de trabalho, para se ter a duração em turnos; (d) multiplicar a duração em turnos pelo fator de dificuldade de execução.

Em se tratando da linha de balanço, na prática têm-se definido as durações a partir do ritmo de produção estimado por gerentes ou planejadores que tenham conhecimento no assunto, os quais se baseiam em práticas correntes e dados históricos para realizar tais definições. Em situações especiais, ou a fim de considerar o efeito aprendizagem gerado pelo aumento da experiência ou a dificuldade de execução, é possível definir que em certas zonas de trabalho, há uma dificuldade maior ou menor, e demora-se mais ou menos do que a média definida em projeto (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). Nessas situações, pode-se utilizar fatores de dificuldade que podem ser aplicados para cada zona de trabalho relacionada a uma tarefa (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

2.3.7 Buffers

Segundo Horman *et al.*, 2003, *buffers* são folgas utilizadas para proteger o sistema de produção da incerteza e da variabilidade, e se utilizados de forma controlada podem permitir que o trabalho seja concluído no prazo estabelecido. Os *buffers* são estrategicamente adicionados como contingência a fim de garantir o fluxo ininterrupto de acordo com o plano definido (LOWE *et al.*, 2012).

Kenley e Seppänen (2010) dão um maior enfoque aos *buffers* de duração ou de localização, os quais se diferem das defasagens pelo fato de serem um componente da conexão lógica entre duas atividades que serve para proteger o planejamento e absorver pequenas variações na produção, como por exemplo, os atrasos. As defasagens, são uma duração fixa da conexão lógica entre duas atividades ou tarefas, como por exemplo o tempo de cura de uma estrutura. Nesta pesquisa, denomina-se folga ou *buffer*, a adição estratégica de tempo ou espaço entre duas atividades com a intenção de absorver variações na produção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

O total de *buffers* necessários para o sistema de produção depende da variabilidade do sistema, sendo que ambientes com maior variabilidade necessitam de mais *buffers*, e os com menor variabilidade necessitam de menos (BØLVIKEN; ASLESEN; KOSKELA, 2015). Como nos processos que envolvem a construção normalmente se tem grande variabilidade, é crítica a importância de balancear a quantidade de *buffers*. Deve-se adotar uma quantidade de *buffers* de forma que permitam manter o fluxo de trabalho

em níveis adequados, mas sempre tendo em mente que deve-se tentar reduzi-los (BØLVIKEN; ROOKE; KOSKELA, 2014).

Os planos gerados com base na abordagem baseada em zonas de trabalho visam eliminar substancialmente as folgas internas das atividades presentes no planejamento, devido enfatizar o fluxo ininterrupto, e buscam também reduzir folgas entre tarefas devido as melhorias nos processos, como o balanceamento dos ritmos de produção (LOWE *et al.*, 2012).

Por fim, Kenley e Seppänen (2010) propõem eliminar *buffers* implícitos por meio do planejamento de zonas de trabalho pequenas. Estes *buffers* implícitos surgem quando as zonas são grandes o suficiente para absorver a execução de diversas disciplinas, ou em outras palavras, uma atividade sucessora pode começar na zona de trabalho sem causar nenhuma interferência na atividade anterior.

2.3.8 Controle da produção baseado em zonas de trabalho

Kenley e Seppänen (2010) afirmam que a gestão baseada em zonas de trabalho deve comprometer os subcontratados com a continuidade da produção e a previsibilidade, e ainda acrescentam que o controle da produção deve suprir isso e não gerar a necessidade de constantes atualizações e modificações nos planos. Assim, o controle da produção deve ser proativo, a fim de evitar que ocorram desvios e de forma a buscar que o desempenho seja conforme o que foi definido como metas de planejamento (LOWE *et al.*, 2012).

O método de controle deve incluir o monitoramento do progresso, métricas de desempenho e a previsão da produção baseado no ritmo de produção real (SEPPÄNEN, 2009). Nesse sentido, quando a produção está aquém do desempenho esperado em uma zona de trabalho, pode-se estimar o impacto no empreendimento a partir do desempenho esperado para as zonas de trabalho seguintes, a menos que alguma medida de controle seja tomada (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

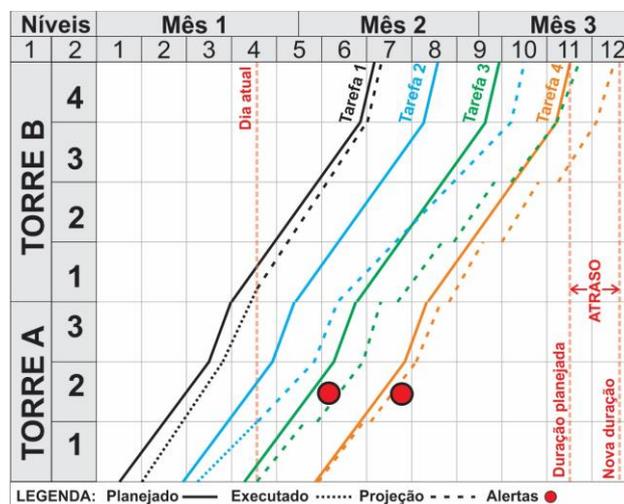
Hopp e Spearman (2000) destacam a importância de controlar o trabalho em progresso, mas afirmam que a sua simples limitação não é condição suficiente para melhorar o sistema, deve-se continuamente haver um esforço para que este nível seja reduzido. Os autores mencionados apontam que o controle do trabalho em progresso está relacionado ao esforço de reduzir do tamanho do lote, principalmente referente ao lote de transferência entre diferentes equipes. Esta redução do tamanho do lote contribui para que as atividades tenham o seu tempo de ciclo reduzido, o que resulta em ciclos de detecção e correção de desvios menores e permite que se tenha o benefício da aprendizagem para a produção dos lotes seguintes (KOSKELA, 1992).

O modelo de controle deve fornecer informação suficiente para diferenciar desvios de desempenho das mudanças circunstanciais (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). As origens de desvios podem incluir: (a) mudanças nos quantitativos, (b) atrasos no começo das atividades, (c) desvios no ritmo de produção, (d) descontinuidade e trabalho fora de sequência, e (e) identificação de pré-requisitos de produção (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

Segundo Kenley e Seppänen (2010), as informações que dizem respeito à etapa de controle da abordagem baseada em zonas de trabalho pode ser classificada em quatro diferentes estágios: linha de base, plano atual, progresso e previsão. A linha de base diz respeito ao compromisso do contratado e do cliente, sendo estas informações alteradas somente quando essas bases de comprometimento entre os dois são alteradas (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). O plano atual traz informações a respeito de como se dará a produção com base nas informações disponíveis, a informação de progresso diz respeito a como a produção tem avançado, e a informação de previsão usa as informações de todos os outros estágios para descrever como possivelmente se dará a produção no futuro (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

A fim de identificar quando uma atividade está com desempenho aquém do esperado, e impacta na descontinuidade das sucessora, podem ser gerados avisos de possíveis interferências, antes das mesmas acontecerem, a fim de permitir que se tenha tempo para ações corretivas, evitando assim a propagação deste efeito (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010). A Figura 13 ilustra a utilização destes avisos: o plano apresentado contém as datas planejadas, o real executado, a projeção das futuras tarefas, e os pontos de alertas, que indicam potenciais conflitos no canteiro de obras se as atividades continuarem nos ritmos apresentados na projeção e nenhuma medida de correção for tomada.

Figura 13 – Planos previsto, realizado e projeção



(Fonte: adaptado de Lowe *et al.* (2012))

3 BUILDING INFORMATION MODELING NA GESTÃO DA PRODUÇÃO

O presente capítulo aborda os conceitos fundamentais de BIM e os propósitos da modelagem da informação da construção. É realizada uma breve revisão sobre interoperabilidade, níveis de desenvolvimento de um modelo 3D e a modelagem progressiva. Na sequência é apresentada a utilização de BIM para o PCP, e por fim são exploradas as sinergias entre *Lean* e BIM, relevantes para este trabalho.

3.1 BUILDING INFORMATION MODELING

Segundo Eastman *et al.* (2011), *Building Information Modeling* (BIM) é uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construções. BIM se refere a um conjunto de tecnologias, processos e políticas, que se relacionam (SUCCAR, 2009) e possibilitam gerenciar informações importantes ao projeto e ao empreendimento por meio de um formato digital ao longo do ciclo de vida da edificação (PENTTILÄ, 2006). Nesse contexto, a adoção de BIM surge como uma oportunidade de melhoria à colaboração entre as equipes responsáveis pela execução de um empreendimento, durante as diferentes fases de projeto e construção (BHATLA; LEITE, 2012).

Lee *et al.* (2006) afirmam que a modelagem paramétrica é uma forma efetiva de agregar conhecimento em modelos de edificações. Os objetos paramétricos consistem na definição geométrica e na associação de dados e regras, incluindo características funcionais e físicas (EASTMAN *et al.*, 2011). Além disso, a modelagem paramétrica possibilita o reuso de definições de classe de objetos para representar múltiplas ocorrências de objetos semelhantes (SACKS *et al.*, 2009). Um modelo BIM pode ser considerado um repositório capaz de incluir diferentes tipos de informação, incluindo informações geométricas e semânticas (SCHLUETER; THESSELING, 2009).

De acordo com Eastman *et al.* (2011), o uso de BIM, além de alterar a forma como os projetos são concebidos, altera vários os processos-chave de um empreendimento de construção. Logo, BIM surge como uma tentativa para melhorar consideravelmente a qualidade da informação presente em empreendimentos de construção, além de melhorar os mecanismos pelos quais a informação é compartilhada e comunicada aos integrantes de uma equipe.

A capacidade de troca de informações entre aplicativos, chamada de interoperabilidade, facilita o fluxo de trabalho e também pode facilitar a sua automação, visto que não é necessário realizar uma cópia dos

dados para inserir em outros aplicativos (EASTMAN *et al.*, 2011). Os padrões de interoperabilidade mais utilizados pela indústria da construção são as *Industry Foundation Classes* (IFC).

3.1.1 Nível de desenvolvimento (LOD)

O nível de desenvolvimento (*Level of Development* – LOD) é uma referência que permite que os envolvidos na indústria da construção especifiquem e articulem, de forma clara, qual é o nível de confiabilidade e o conteúdo presente nos modelos BIM nas várias fases do processo de projeto e construção (BIMFORUM, 2016). Nesse sentido, a ASBEA (2015) salienta a importância de definir um LOD para cada componente, em cada uma destas fases, visto que dependendo do tipo de contrato, das características do empreendimento e do uso que será dado ao modelo BIM, há uma adequada quantidade de informação necessária.

O *American Institute of Architects* (AIA, 2013) define cinco níveis de desenvolvimento: 100, 200, 300, 400 e 500. Além destes, é acrescentado o LOD 350 pelo BIMForum (2016). As definições destes níveis, proposto pela AIA e BimForum, são descritos a seguir:

- a) LOD 100: os elementos do modelo são representados graficamente por meio de símbolos ou outra representação genérica. Neste nível, as informações derivadas de um elemento devem ser consideradas aproximadas.
- b) LOD 200: os elementos do modelo são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto genérico, com quantidades, tamanho, forma, local e orientação aproximados. Informações não gráficas também podem ser anexadas ao elemento.
- c) LOD 300: os elementos do modelo são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico, em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação.
- d) LOD 350: os elementos do modelo são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas construtivos.
- e) LOD 400: os elementos do modelo são representados graficamente como um sistema, objeto ou conjunto específico, preciso em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informações de instalação.
- f) LOD 500: os elementos do modelo são verificados *in-loco* e são precisos em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. Como este nível refere-se à

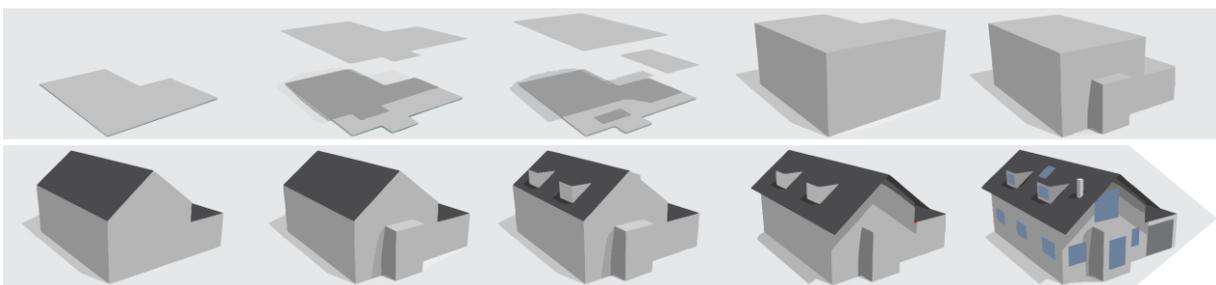
verificação *in-loco*, não representa um progresso no aumento do nível de informação geométrica e não geométrica.

3.1.2 Especificação Progressiva do Modelo (MPS)

No que diz respeito à qual será o uso do modelo BIM, é importante planejar a evolução de modelagem de acordo com a necessidade dos usuários. Se o modelo for utilizado para coordenação (3D), planejamento (4D), ou orçamento (5D), o modelo deve corresponder às necessidades dos projetistas, orçamentistas e planejadores respectivamente (BROEKMAAT, 2013). Nesse sentido, a Especificação Progressiva do Modelo (*Model Progress Specification – MPS*) busca a coordenação da informação em termos do nível de desenvolvimento para identificar a necessidade de detalhamento gradual da geometria e demais informações dos elementos, requisitos para o orçamento e planejamento, a fim de atender cada estágio de desenvolvimento do projeto (BROEKMAAT, 2013). A especificação progressiva do modelo está diretamente relacionada à necessidade de puxar a informação de acordo com as necessidades dos usuários do modelo, de modo haja informações suficientes para a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida do projeto.

Corroborando com as ideias acima, Bedrick (2008) afirma que, ao utilizar o conceito de LOD para definir e especificar os produtos de uma fase de desenvolvimento do projeto, devem ser definidos as especificações e parâmetros individuais de cada tipo de elemento para cada estágio, visto que cada um destes elementos pode ter ritmos de desenvolvimento diferentes. Este conceito contrasta com o processo tradicional de projeto, no qual todos os elementos são desenvolvidos e representados de forma homogênea (BOLPAGNI; CIRIBINI, 2016). Logo, não faria sentido solicitar um modelo BIM com um único LOD, mas especificar um LOD para cada um dos elementos (BOLPAGNI; CIRIBINI, 2016). Nesse sentido, Botton, Kubicki e Halin (2015) afirmam que, ao utilizar um modelo BIM para um processo construtivo pode-se necessitar refinamentos do modelo ao longo do empreendimento. A Figura 14 ilustra a ideia de Especificação Progressiva do Modelo, em termos de geometria, a qual mostra uma casa sendo progressivamente desenvolvida a fim de atender as necessidades elencadas pelos usuários.

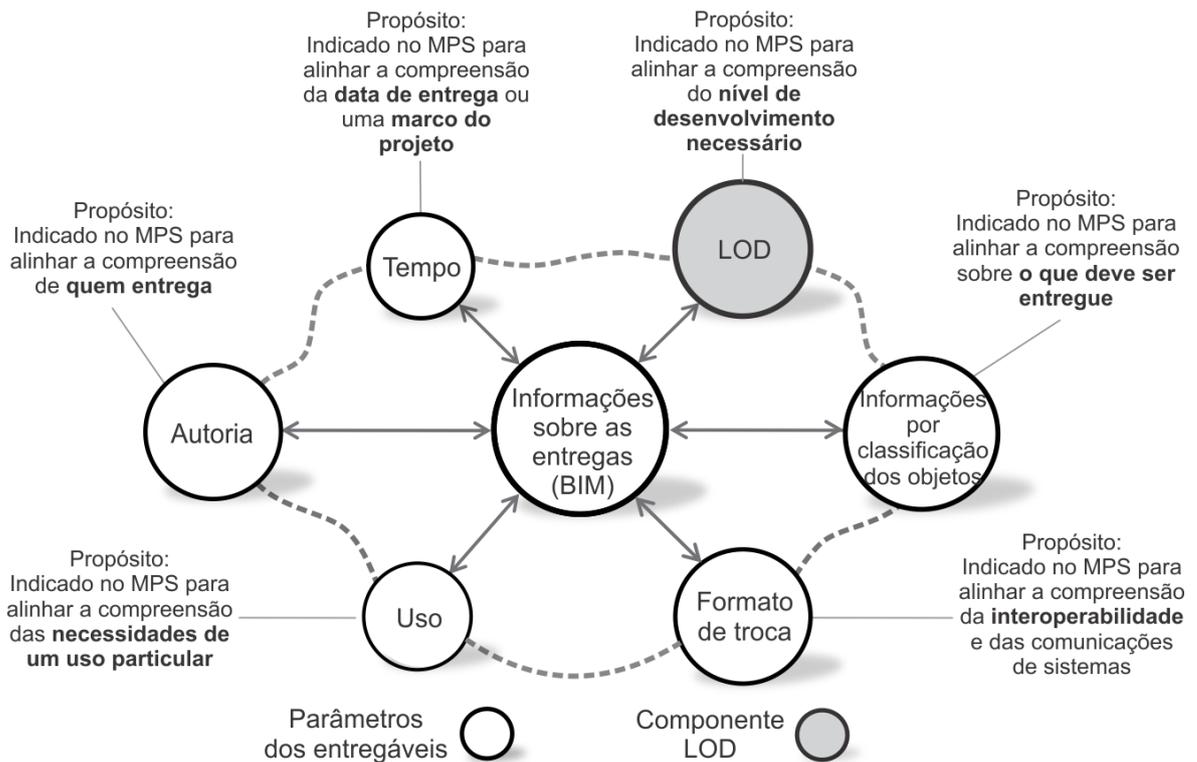
Figura 14 – Modelagem progressiva de uma casa



(Fonte: adaptado de Biljecki, F., Ledoux e Stoter, 2016)

Nesta ideia de adotar uma modelagem progressiva, é importante identificar quais são os parâmetros dos entregáveis que devem ser considerados e onde o LOD se enquadra a fim de gerir as diferentes fases de desenvolvimento do projeto (HOOPER, 2015). A Figura 15 apresenta e esquematiza o que são cada um destes parâmetros relevantes aos entregáveis e para o que eles servem.

Figura 15 – Parâmetros relacionados aos entregáveis



(Fonte: Hooper 2012 e Hooper, 2013)

3.2 USO DE MODELOS BIM 4D PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

A utilização de simulações 4D, que consistem na vinculação do planejamento ao modelo BIM, permite visualizar e comunicar o processo construtivo ao longo do tempo e do espaço (EASTMAN *et al.*, 2011; BOTON *et al.* 2015), além de permitir aos planejadores e demais envolvidos observar o sequenciamento das atividades e identificar problemas presentes no plano (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

De uma forma geral, os produtos da simulação 4D são vídeos ou um conjunto de imagens que mostram a evolução da obra ao longo do tempo. Estas soluções já foram bastante exploradas, como nos trabalhos de Li *et al.* (2009), Biotto (2012), Kim *et al.* (2013), Bortolini (2015), Boton, Kubicki e Halin (2015), e Bataglin (2017), que a partir dos resultados das simulações 4D, geraram vídeos e imagens, e propuseram melhorias ao planejamento dos empreendimentos estudados.

As diversas pesquisas encontradas que utilizam simulações 4D, principalmente dão suporte ao planejamento e controle da produção. Boton, Kubicki e Halin (2015) utilizaram simulações 4D em reuniões colaborativas na fase de projeto para antecipar problemas de sequenciamento e estudar a viabilidade das estratégias de execução adotadas, além de utilizar o modelo 4D para simular a logística do canteiro de obras. Outros trabalhos exploraram a visualização do progresso da construção, como Kim *et al.* (2013), que desenvolveu um método para medir o progresso da construção a partir da informação contida num modelo 4D e dados 3D advindos do canteiro de obras, como Pitake e Patil (2013), que desenvolveram um método visual de planejamento com o uso de modelos 4D a fim de melhorar a coordenação e comunicação das equipes, o que contribuiu para redução de tempo e custo pela redução do atraso da construção, e como Li, Stephens e Ryba (2014), que utilizaram modelos 4D do empreendimento para estudar os fluxos de trabalho, planejar e controlar a utilização dos espaços.

Além destes, Zhang e Li (2010) propuseram melhorias ao *layout* do canteiro de obras, Sulankivi *et al.* (2010) estudaram os potenciais e a possibilidade de utilizar um modelo 4D como centralizador das atividades relacionadas a segurança do canteiro de obras e identificaram que essa adoção pode aumentar a segurança de forma que os problemas de segurança podem estar conectados de forma mais próxima ao planejamento da construção, e Li *et al.* (2009) descrevem a utilização de modelos 4D para melhorar o planejamento a partir da análise da alocação dos recursos, logística de acesso e *layout* do canteiro de obras.

Koo e Fischer (2000) indicam que a utilização de modelos 4D pode permitir promover reuniões de planejamento mais colaborativas, gerar ferramentas de controle da produção mais visuais e comunicar os planos às equipes gerenciais e operacionais de modo que todos tenham a informação clara e um pleno conhecimento das atividades que serão desenvolvidas.

Neste trabalho, a utilização de modelos 4D surge com um potencial a ser explorado e investigado juntamente com ferramentas como a linha de fluxo, a fim de entender como em conjunto permitem estudar os fluxos de trabalho, verificar falhas no sequenciamento das atividades, avaliar a viabilidade do plano desenvolvido e identificar melhores alternativas para a execução, ideias essas que foram evidenciadas no trabalho de Björnfot e Jongeling (2007), os quais utilizaram a linha de balanço em conjunto com um modelo 4D em um estudo de caso.

Björnfot e Jongeling (2007) também trazem indícios no seu trabalho, que a abordagem baseada em zonas de trabalho em conjunto com modelos 4D suportam o pensamento *lean*, enquanto busca-se identificar perdas e planejar um fluxo ininterrupto. Neste sentido, buscou-se identificar como BIM pode

contribuir com a busca dos objetivos do pensamento *Lean*, descrito na forma de sinergias no item subsequente, o que é um dos focos deste trabalho.

3.3 SINERGIAS ENTRE BIM E *LEAN*

Nos últimos anos, uma grande quantidade de estudos sobre BIM e *Lean* foram realizados. Sacks *et al.* (2009) afirmam que embora estas áreas são conceitualmente separadas, existem sinergias entre elas. Nesse sentido, Fosse *et al.* (2017) afirmam que *Lean* está mais relacionado à confiabilidade dos processos, enquanto BIM está mais relacionado à confiabilidade da informação. Dave (2013) aponta que o uso de BIM tem contribuído para resolver problemas relacionados à modelagem dos produtos e processos, enquanto *Lean* tem contribuído para melhorar a gestão da produção e dos processos de empreendimentos de construção. Na busca para encontrar interações entre as funcionalidades BIM e os princípios da filosofia *Lean*, Sacks *et al.* (2010) desenvolveram uma matriz e identificaram 56 interações. Dessas, sete interações foram identificadas como relevantes ao presente trabalho, e foram apresentadas na Figura 16 a fim de identificar como as funcionalidades BIM poderiam, neste trabalho, contribuir para buscar os objetivos do *Lean*. Nesta figura, cada iteração é apresentada segundo um número que identifica a interação apresentada no trabalho de Sacks *et al.* (2010). As funcionalidades BIM também são representadas por um número, que indica a funcionalidade BIM em questão dentre as dezoito identificadas pelo referido autor, e por fim os princípios *Lean* relacionados são representados por letras, que vão de A até X no trabalho de Sacks *et al.* (2010).

A seguir, são descritas com base em Sacks *et al.* (2010) cada uma destas iterações entre os princípios *Lean* e as funcionalidades BIM:

- a) Iteração 3: os sistemas construtivos estão cada vez mais complexos, e mesmo os profissionais bem capacitados tem dificuldade de compreender os projetos e processos envolvidos na construção apenas com desenhos técnicos. BIM simplifica o entendimento dos projetos, permitindo que a informação fique acessível para participantes não técnicos do projeto, e ainda ajuda os planejadores a lidar com estes produtos complexos (SACKS *et al.*, 2010). Nesse sentido, Sacks *et al.* (2010) afirmam que modelos BIM orientados ao fluxo e valor, permitem projetar o sistema de produção de forma a garantir a capacidade do sistema e o fluxo, dando suporte ao controle da produção e a melhoria contínua.

Figura 16 - Interações entre as funcionalidades BIM e os princípios Lean relevantes para o presente trabalho

ITERAÇÃO	FUNCIONALIDADE BIM	PRINCÍPIO LEAN
3	1 – Visualização do projeto	N – Simplificar por meio do projeto dos sistemas produtivos orientados ao fluxo e valor
11	6 – Fonte de informação única	A – Reduzir a variabilidade do produto
25	11 – Geração automática das tarefas da construção 12 – Simulação dos processos da construção 13 – Visualização 4D do planejamento da construção	C – Reduzir a duração dos ciclos de produção
34	14 – Visualização do status do processo 15 – Comunicação online da informação do produto e processo	H – Uso de sistemas puxados M – Visualizar os processos de produção por meio da gestão visual
40	13 – Visualização 4D de cronogramas da construção	B – Redução da variabilidade da produção L – Visualizar os métodos de produção por meio da gestão visual M – Visualizar os processos de produção por meio da gestão visual
47	12 – Simulação dos processos da construção 13 – Visualização 4D de cronogramas da construção 14 – Visualização do status do processo	U – Processo de geração de valor a partir da validação e verificação das informações
49	10 – Colaboração no projeto e na construção – Visualização por múltiplos usuários 13 – Visualização 4D de cronogramas da construção	W – Resolução de problemas – Decisões por consenso, considerar todas as opções

(Fonte: elaborado pelo autor)

- b) Iteração 11: Nos projetos desenvolvidos em CAD, os desenhos devem ser representados sob diferentes pontos de vista (plantas, cortes, etc.) e na medida que o projeto avança, alterações são realizadas. Essas mudanças geram a necessidade de manter a consistência das múltiplas representações e informações. Com a utilização de BIM, a informação possui uma única fonte, e as múltiplas representações são geradas e alteradas de forma automática, reduzindo assim a variabilidade dos projetos (SACKS *et al.*, 2010).
- c) Iteração 25: segundo Sacks *et al.* (2010), a geração automática da lista de tarefas a serem executadas, a simulação dos processos da construção e a visualização 4D do planejamento permitem reduzir o tempo de ciclo das tarefas, visto que permitem identificar antecipadamente conflitos existentes no plano e resultam em cronogramas melhores e com menos conflitos.
- d) Iteração 34: a visualização e a comunicação do status do processo são elementos-chave para permitir que as equipes de produção priorizem finalizar as zonas de trabalho em que estão trabalhando para seguir para as subsequentes, de forma a contribuir e garantir um fluxo ininterrupto de trabalho, e assim implementar um fluxo puxado (SACKS *et al.*, 2010). Em um sistema puxado, as atividades são desencadeadas pela

demanda de uma estação de trabalho à jusante, ou pelo cliente, enquanto em um sistema empurrado, o plano empurra as atividades para realização (SACKS *et al.*, 2010). Entretanto, os sistemas de controle da produção são uma mescla dos dois, e deve-se escolher qual é o melhor método para cada estágio da produção (HUANG e KUSIAK, 1998).

- e) Iteração 40: a utilização de ferramentas 4D permite acompanhar as fases de desenvolvimento do projeto e execução da construção, permitindo simular a produção, os equipamentos e os processos. Além disso, pode-se ainda simular as operações, identificar conflitos de tempo, espaço e problemas de construtibilidade. Conseqüentemente, estas simulações permitem melhorar os processos, aumentar a eficiência, a segurança, e também ajudam a identificar gargalos e a melhorar os fluxos da construção (SACKS *et al.*, 2010).
- f) Iteração 47: a visualização de cronogramas propostos e a visualização de processos em andamento permitem verificar e validar a informação do processo contra as especificações e exigências do cliente, a fim de gerar valor (SACKS *et al.*, 2010).
- g) Iteração 49: a visualização 4D do planejamento, a colaboração no projeto e na construção, e a comunicação da informação do produto e processos, podem apoiar e facilitar a tomada de decisões participativa, fornecendo mais e melhores informações à todos os envolvidos, e expande o leque de opções que podem ser consideradas (SACKS *et al.*, 2010). Além disso, ferramentas 4D permitem gerar e avaliar alternativas de planejamento de forma rápida.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa adotado neste trabalho. São abordados a estratégia de pesquisa utilizada, o delineamento da pesquisa, as fontes de evidência e a descrição dos estudos realizados neste trabalho. Este último é desdobrado na descrição das empresas envolvidas nos estudos, na descrição dos empreendimentos e das atividades realizadas. Por fim, são apresentados os constructos utilizados na avaliação do método proposto.

4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa adota a abordagem *Design Science Research* (DSR), também conhecida como pesquisa construtiva (*Constructive Research*), a qual possui um caráter prescritivo (MARCH; SMITH, 1995). Neste tipo de pesquisa procura-se resolver problemas mal estruturados de uma forma sistemática e explorar novas alternativas para resolução dessas situações, ao mesmo tempo que se explica o processo exploratório e melhora o processo de resolução de problemas (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009). Além da ênfase dada para as contribuições práticas, esta abordagem deve ter contribuições teóricas para o conhecimento científico, mas que geralmente se encontram em um nível de abstração menor quando comparados as teorias descritivas das ciências sociais (VAN AKEN, 2004). Kasanen, Lukka e Siitonen (1993) definem os elementos centrais da DSR, que são: conexões com as teorias preexistentes, relevância prática do problema e da solução, utilidade pública da solução e contribuição teórica do estudo.

A DSR envolve dois tipos de atividades, construir e avaliar artefatos, as quais são complementadas pelas etapas de teorizar e justificar, típicas das ciências naturais (MARCH; SMITH, 1995). A etapa de construção envolve o desenvolvimento de um artefato para um propósito específico, enquanto a avaliação está relacionada à utilidade e aplicabilidade do mesmo, a partir de um conjunto de critérios para avaliar o seu desempenho (MARCH; SMITH, 1995). Nesse sentido, a DSR também produz conhecimento a respeito das vantagens e desvantagens de soluções alternativas (VAN AKEN, 2005).

Segundo March e Smith (1995), os produtos ou artefatos da DSR classificam-se quatro tipos: constructos, modelos, métodos e instanciações. Os constructos são conceitos locais utilizados para descrever os problemas e especificar as soluções propostas, formando um vocabulário dentro de um domínio. Os modelos consistem em um conjunto de proposições e declarações que expressam relações entre os constructos, representando situações como problemas e soluções (MARCH; SMITH, 1995). Os métodos

são definidos como um conjunto de passos, algoritmo ou diretrizes, utilizados para realizar uma tarefa, sendo algumas vezes utilizados para transformar um modelo ou uma representação em outro no decorrer da solução de um problema (MARCH; SMITH, 1995). A instanciação é a implementação de um artefato no seu contexto, o que operacionaliza os constructos, modelos e métodos, e pode ser utilizado para avaliar a viabilidade e eficácia dos métodos e modelos (MARCH; SMITH, 1995).

Segundo Lukka (2003), as principais características da DSR são: (a) foco em problemas relevantes do mundo real que devem ser resolvidos na prática; (b) ligação explícita ao conhecimento teórico prévio; (c) cooperação e envolvimento dos pesquisadores e profissionais, pois espera-se um aprendizado baseado na experiência; (d) desenvolvimento de um artefato inovador com o intuito de resolver o problema do mundo real previamente proposto; (e) Tentar implementar e testar o artefato; (f) ter atenção na reflexão dos resultados empíricos com base na teoria.

Apesar desta pesquisa ser caracterizada como DSR, ela também possui algumas características típicas da Pesquisa Ação (*Action Research* - AR). Neste tipo de pesquisa há uma forte participação de uma organização ou grupo de pessoas no desenvolvimento dos artefatos, combinada com intervenções do pesquisador, para resolver os problemas organizacionais (BABUROGLU; RAVN, 1992). Segundo Eden e Huxham (1996), a AR é uma estratégia para a obtenção de conhecimento ao mesmo tempo que se introduz mudanças nos sistemas sociais e observa os seus efeitos, sendo que há um envolvimento do pesquisador com os membros de uma organização, os quais tem uma verdadeira preocupação com o assunto.

Nesta pesquisa em questão, a DSR é considerada como um modo de produção de conhecimento, enquanto a AR é uma maneira de atingir esta produção de conhecimento. Segundo Cole *et al.* (2005), a DSR se beneficia da maturidade de avaliação e de outros critérios da AR. Järvinen (2007) ainda aponta que ambas abordagens envolvem ações, avaliação dos resultados e produção de conhecimento. O mesmo autor ainda acrescenta que na AR, as ações são realizadas de forma colaborativa. Na tentativa de reformular a estratégia de pesquisa de uma série de estudos da AR para DSR e vice-versa, Cole *et al.* (2005) sugerem adicionar a fase de reflexão da abordagem da AR à DSR, para aumentar a aprendizagem. Assim como os autores sugerem adicionar a fase de construção à AR, para concretizar o aprendizado e transformar a saída da AR em um artefato da DSR. Por fim, sugerem o desenvolvimento de uma abordagem combinada e integrada dos dois. Nesse sentido, Sein *et al.* (2011) propõem um método de pesquisa denominado *Action Design Research*, o qual reconhece que o artefato pode emergir da interação com o contexto organizacional, mesmo que o projeto inicial seja guiado pela intenção dos pesquisadores.

O produto principal deste trabalho é um método que visa a solucionar problemas relacionados a gestão da produção de empreendimentos de construção. Este método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM, é complementado por um mapa conceitual, o qual relaciona os princípios e conceitos fundamentais que sustentam este método. A interação e a forte presença da cooperação entre as empresas envolvidas e o pesquisador, bem como os ciclos de aprendizado e reflexões incorporados na fase de implementação, típicos da AR, contribuíram para a proposição do artefato.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi composta por duas etapas: (a) um estudo exploratório e um estudo empírico realizado na Empresa A, e (b) um estudo empírico na Empresa B. O desenvolvimento de dois estudos empíricos teve como propósito permitir aprendizagem na implementação, explorar diferentes aspectos em cada estudo e facilitar a abstração dos resultados da pesquisa.

Cada um dos estudos desta pesquisa foi dividido em fases: fase de compreensão, fase de desenvolvimento e teste, e fase de análise e reflexão. Mais especificamente, estas fases da pesquisa foram subdivididas segundo a divisão proposta por Lukka (2003), o que desmembrou as três fases em seis: (1) encontrar um problema de relevância prática; (2) obter uma profunda compreensão do tópico; (3) desenvolver uma solução inovadora; (4) implementar e testar a solução; (5) refletir sobre o escopo de aplicação da solução; (6) identificar e analisar as contribuições teóricas. Estas fases, propostas pelo referido autor e adotadas nesta pesquisa, se repetem em cada etapa, gerando ciclos de aprendizagem ao longo do desenvolvimento do trabalho.

As empresas selecionadas e envolvidas neste trabalho são fruto de parcerias com o grupo de pesquisa, e também foram escolhidas em função do mercado imobiliário, pelo seu caráter repetitivo. Além disso, ambas as empresas atenderam aos critérios de seleção definidos pelo pesquisador: (a) ser do ramo da construção civil e utilizar um método para PCP que contém alguns elementos da filosofia Lean; (b) ter interesse em implementar melhorias no PCP; (c) utilizar ou ter interesse em utilizar BIM nos seus processos (d) dar abertura para realizar esta pesquisa; (e) disponibilizar um empreendimento para desenvolver o estudo.

O delineamento desta pesquisa, apresentado na Figura 17, tem como base a divisão mencionada e é composto pelas etapas e fases anteriormente descritas. A revisão de literatura foi desenvolvida ao longo de todas as fases desta pesquisa.

A etapa 1 deste trabalho inicia com um estudo exploratório, que surgiu no contexto de um trabalho desenvolvido para a disciplina de Gestão Integrada de Projetos e BIM. O caráter exploratório deste estudo se deve à falta de conhecimento do pesquisador a respeito da abordagem baseada em zonas de trabalho e do *software* a ser utilizado. Este estudo foi realizado com o apoio de dois mestrandos do NORIE¹ e não foi conduzido dentro do seu contexto, visto que não foram realizadas visitas ao empreendimento e não houve contato com as empresas envolvidas. A fase de compreensão inicia com a procura de um problema de relevância prática e pela busca de uma lacuna de conhecimento. Nesse sentido, surgiu a oportunidade de utilizar o *software* Vico Office para desenvolver um modelo 4D e estudar as potencialidades da sua utilização para planejar empreendimentos com base na abordagem de zonas de trabalho. O modelo 3D, previamente desenvolvido, foi adaptado para poder ser utilizado no estudo. Na fase de análise e reflexão dos resultados desta etapa, foram identificadas contribuições práticas e teóricas, que além de contribuir para os estudos empíricos subsequentes, serviram como motivação para este trabalho. Este estudo serviu para a compreensão inicial do problema de pesquisa, para entender as necessidades envolvidas no desenvolvimento do modelo BIM e para o pesquisador operacionalizar o *software*, que foi utilizado nos estudos subsequentes.

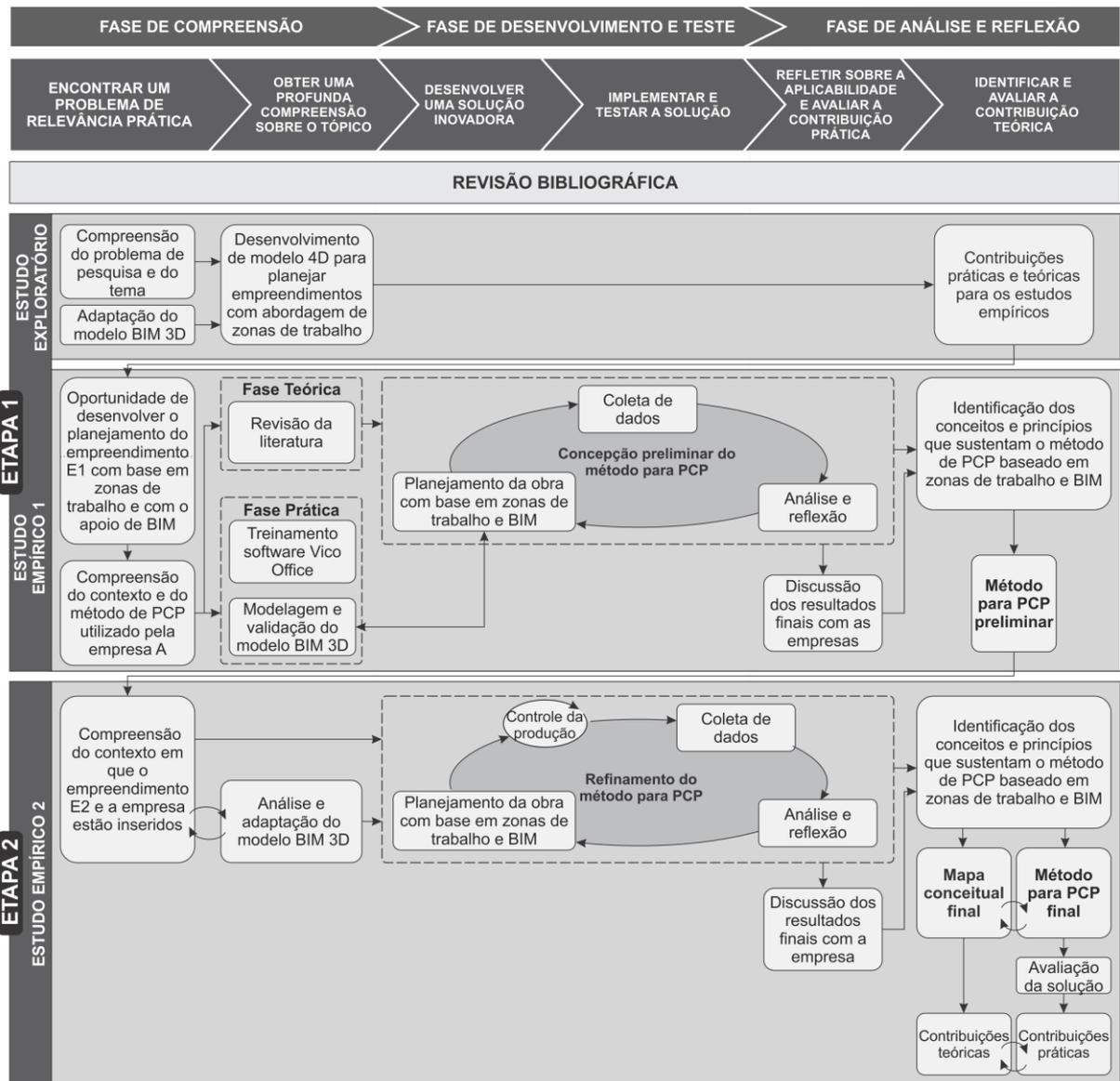
A continuação da etapa 1, que contempla o estudo empírico 1, se deu a partir da parceria da Empresa A com o grupo de pesquisa que o pesquisador fazia parte. A oportunidade surgiu a partir do interesse da empresa em entender as vantagens do uso de um PCP baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. Na fase de compreensão foi realizado um diagnóstico da Empresa A e do Empreendimento E1, com o intuito de entender o contexto, analisar o método para PCP adotado e identificar oportunidades de melhoria. Essa fase foi marcada por uma fase teórica, composta por uma extensa revisão da literatura, que buscou entender a abordagem de planejamento baseado em zonas de trabalho. Além disto, nesta etapa o pesquisador realizou um treinamento do *software* Vico Office, que adota esta abordagem, além de desenvolver o modelo BIM do Empreendimento E1 em conjunto com a empresa e a bolsista de iniciação científica envolvida neste estudo². O modelo BIM foi refinado na medida em que se avançou o estudo e novas necessidades foram surgindo. Ambas as fases (teórica e prática) ocorreram concomitantemente e de forma iterativa. Na fase de desenvolvimento e teste, foi concebido preliminarmente o método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM. Esta concepção ocorreu ao longo dos ciclos de planejamento, coleta, análise e reflexão dos dados referentes ao Empreendimento E1. Ao final deste estudo, na fase de análise e reflexão, houve uma discussão dos resultados com

¹ Apoiaram este estudo os mestrandos João Soliman Junior e Luciana Gheller Amorim

² Bolsista de iniciação científica Flávia Olicheski de Marchi

representantes da empresa parceira, o que também contribuiu para a identificação dos princípios e conceitos fundamentais que sustentam o método em questão.

Figura 17 – Delineamento da pesquisa



(Fonte: elaborado pelo autor)

Na etapa 2 desta pesquisa, composta pelo estudo empírico 2, buscou-se aplicar e refinar o método preliminar proposto na etapa 1 deste trabalho. Na fase de compreensão buscou-se compreender o contexto em que a Empresa B e o Empreendimento E2 estavam inseridos. De forma paralela, foi analisado e adaptado o modelo BIM do empreendimento B, que havia sido desenvolvido anteriormente por outra empresa, a fim de utilizá-lo neste estudo. Na fase de desenvolvimento e teste foram realizados diversos ciclos de planejamento e controle da produção, com base no método proposto, que foi refinado à medida em que os dados eram coletados, analisados e discutidos. Ao final deste estudo, na fase de

análise e reflexão, houve uma discussão dos resultados com representantes da empresa parceira, o que também contribuiu para a identificação dos princípios e conceitos fundamentais que sustentam o método proposto. Posteriormente, foram propostos o mapa conceitual e o método na sua versão final. Por fim, foi feita a avaliação da solução, e foram identificadas as contribuições práticas e teóricas da pesquisa.

As durações das etapas, bem como as informações a respeito das empresas, dos empreendimentos e dos estudos envolvidos neste trabalho foram relacionadas na Figura 18.

Figura 18 - Relação das etapas do estudo com os empreendimentos e empresas envolvidas

ETAPA	ESTUDO	DURAÇÃO	EMPREENHIMENTO	EMPRESA
1	Estudo exploratório	06/16 - 07/16 2 meses	E0	-
	Estudo empírico 1	09/16 – 6/17 9 meses	E1	A
2	Estudo empírico 2	10/17 – 4/18 7 meses	E2	B

(Fonte: elaborado pelo autor)

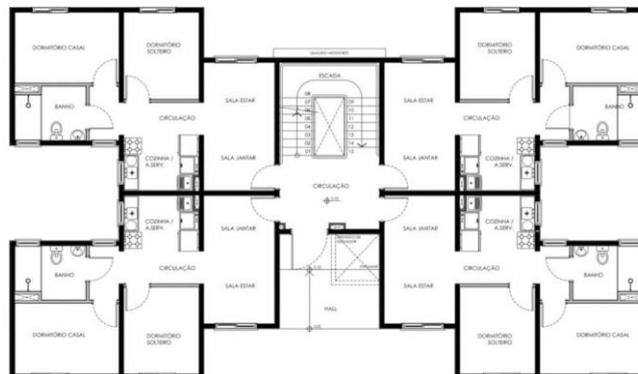
4.3 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS

4.3.1 Etapa 1 - Estudo exploratório

4.3.1.1 Descrição do Empreendimento E0

O empreendimento multifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) é localizado na cidade de Canoas/RS. O Empreendimento E0 é constituído por 280 unidades habitacionais, divididas em 14 torres idênticas, com 5 pavimentos divididos em 4 apartamentos tipo (Figura 19). Devido ao caráter exploratório deste trabalho, optou-se por restringir o estudo somente à uma das torres, com o intuito de simplificar o estudo e permitir desenvolver todo o escopo do trabalho.

Figura 19 – Planta baixa do pavimento tipo do Empreendimento E0



(Fonte: BALDAUF, 2013)

4.3.1.2 Descrição das atividades realizadas

Exploração do software Vico Office: para obter um entendimento básico do funcionamento do *software*, foi feita a leitura do manual do usuário do *software* e foram realizadas videoaulas.

Adaptação do modelo BIM: foi utilizado um modelo BIM de um empreendimento previamente desenvolvido por uma pesquisadora (BALDAUF, 2013) para uma pesquisa relacionada à gestão de requisitos com o uso de BIM. O modelo BIM, desenvolvido no *software Autodesk Revit* para realizar verificações automatizadas por meio de *code checking*, gerou a necessidade de adaptação do modelo para o estudo. Diante disso, optou-se por desenvolver um novo modelo com apenas uma das torres do empreendimento para dar continuidade do estudo.

Desenvolvimento do modelo 4D do empreendimento no software Vico Office: para que fosse possível desenvolver o modelo 4D do empreendimento, foi definida a estrutura hierárquica de zonas de trabalho, elaborada uma lista de tarefas e a estrutura de custos. A lista de tarefas e a estrutura de custos concebidas para este estudo foram baseadas no conhecimento dos pesquisadores e não refletem necessariamente os requisitos do empreendimento.

4.3.2 Etapa 1 - Estudo empírico 1

4.3.2.1 Descrição da Empresa A

A Empresa A, localizada na cidade de Porto Alegre/RS, possui mais de 25 anos de experiência, tendo executado mais de 15 empreendimentos e atua na área de construção e incorporação. A sua atuação está focada em empreendimentos residenciais, como condomínios de casas e prédios com muitas áreas de uso comum. A Empresa A trabalha tanto com mão-de-obra própria como terceirizada, sendo que as empresas subempreiteiras recebem a partir de medições mensais. A obra contava com um corpo técnico composto por encarregados responsáveis pelo acompanhamento da execução de determinados serviços do empreendimento, técnicos de edificações, técnico de segurança do trabalho, estagiários de engenharia, almoxarifes e engenheiro responsável pelo empreendimento. No escritório ficava o restante dos setores, tais como a gestão de custos e a gestão estratégica.

A Empresa A já possuía um sistema de planejamento e controle formalizado no Empreendimento E1, o qual possuía alguns elementos do Sistema *Last Planner*. Além disto, a empresa estava engajada em um processo de melhorias baseado nos princípios da Produção Enxuta, com apoio de uma empresa de consultoria, e tinha interesse em implementar melhorias no PCP a partir da definição de zonas de trabalho e com o apoio de BIM. Esta empresa de consultoria trabalha há 5 anos com obras de grande porte, tais

como condomínios residências horizontais e verticais, empreendimentos corporativos, pavilhões industriais, obras navais e hospitais. Suas atividades concentram-se na implementação de ferramentas *Lean*, LPS e BIM, além de atuarem no gerenciamento, fiscalização e coordenação da execução de obras, gestão de contratos, controle de suprimentos e gestão de custos.

4.3.2.2 Descrição do Empreendimento E1

O Empreendimento E1 é um condomínio residencial com área total construída de 113.360 m², composto por 99 casas de 2 e 3 dormitórios, e localizado na cidade de Porto Alegre/RS (Figura 20). Para a Empresa A este empreendimento era diferenciado de outros no mercado de Porto Alegre, por terem algumas inovações tecnológicas, relacionadas à automação. Este estudo ocorreu numa etapa intermediária da obra, onde diversos serviços ainda estavam acontecendo.

Figura 20 – Vistas do Empreendimento E1



(Fonte: Empresa A)

A área das casas variava entre 155 e 210 m², sendo divididas em 5 tipologias diferentes conforme indicado na Figura 21 e na Figura 22. O condomínio é composto por três fitas de casas, sendo que entre cada fita há uma via para circulação de veículos. Além das casas, há uma portaria, salão de festas, piscina e quadra de esportes (Figura 22). Apesar da Empresa A ter interesse em desenvolver os projetos dos empreendimentos futuros em BIM, ainda não utilizava tal solução.

Figura 21 – Tipologias das casas

Tipologias de casas	Número de unidades	Quantidade de pavimentos	Caracterização das casas
1	4	2	Casas diferentes das demais
2	72	2	Casas de meio de quadra
3	16	3	Casas de meio de quadra com três pavimentos
4	3	2	Casas de esquina similares ao tipo 2
5	4	2	Casas de esquina similares ao tipo 2 localizadas nas quadras centrais

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22 – Vista da implantação do Empreendimento E1



4.3.2.3 Descrição das atividades realizadas

Preparação para o estudo: foram realizadas duas reuniões, sendo a primeira com a empresa de consultoria para entender as necessidades da Empresa A, e a segunda com os representantes da Empresa A para que o pesquisador apresentasse formalmente os objetivos e o escopo do trabalho. A partir destas reuniões e do entendimento inicial do foco do trabalho, foi possível entender as necessidades e os desafios enfrentados pela Empresa A, para então definir um plano de trabalho.

Diagnóstico da Empresa A e do Empreendimento E1: foi realizado um diagnóstico da empresa a partir do levantamento dos aspectos que possuíam relação com o sistema de PCP da empresa e dos problemas considerados como críticos pela Empresa A e pelo Empreendimento E1, que poderiam representar oportunidades de melhoria.

O diagnóstico foi realizado a partir de observações participantes em reuniões de PCP, visitas ao canteiro de obras para a realização de observações diretas, análise de arquivos fornecidos pela empresa (cronogramas, orçamento, planilhas das reuniões de médio e curto prazo, planilha de restrições, gráfico de desvio de ritmo, indicadores, plano de ataque, diagrama de precedência das tarefas, definição dos lotes de produção e transferência, etc.), e entrevistas abertas realizadas com os consultores.

O pesquisador participou de 5 reuniões de médio prazo, nas quais se buscou entender o andamento das mesmas, particularmente a identificação e remoção de restrições, e os problemas enfrentados neste nível de PCP. Estas reuniões tinham uma duração média de 2 horas e aconteciam quinzenalmente na sede da empresa. Participavam desta reunião os membros da diretoria da empresa, o responsável pelo setor de compras e suprimentos da obra, os responsáveis pelos projetos, o responsável pelo setor de recursos humanos e os consultores.

Além disso, o pesquisador participou de 6 reuniões de curto prazo, com o objetivo de entender o andamento das mesmas, incluindo a atuação dos diferentes participantes, os principais problemas enfrentados, como era feito o controle da produção, incluindo a utilização do indicador PPC. As reuniões aconteciam semanalmente no escritório de engenharia no canteiro de obras e tinham duração média de 1h30min. Participavam da reunião, um integrante de cada empreiteiro envolvido no canteiro de obras, os consultores e a equipe gerencial da obra, que era composta pela técnica em edificações responsável pela produção e os responsáveis pela fiscalização da execução dos serviços dos subempreiteiros.

Além destas reuniões, foram realizadas 7 visitas ao canteiro de obras, com uma duração de aproximadamente de 1 hora cada. Durante estas visitas, observou-se o andamento da obra de uma forma geral, incluindo os processos em execução, e buscou-se identificar oportunidades de melhoria. Estas visitas contribuíram para entender o contexto e as dificuldades enfrentadas na obra.

Baseado na análise de todas as informações coletadas, foi realizado o mapeamento do sistema de PCP adotado pela empresa. Sendo que as principais fontes de evidência para tal foram os documentos referentes aos planos, as observações participantes nas reuniões de planejamento de médio e curto prazo e reuniões com a empresa consultora a fim de avaliar e refinar o mapeamento realizado. Com isso, foi feito um fluxograma a fim de permitir um entendimento sistemático de todas as etapas e documentos envolvidos no processo de PCP.

Seleção e treinamento dos *software* de modelagem e gestão da produção: a escolha do *software* utilizado para a modelagem BIM foi baseada em alguns critérios: (a) disponibilidade do *software*, (b) experiência do pesquisador e do bolsista de iniciação científica com o *software*, (c) compatibilidade do *software* com o Vico Office. Com isso, optou-se por utilizar o *software* ArchiCAD.

O *software* utilizado para desenvolver o PCP foi escolhido considerando o seu potencial para trabalhar com a abordagem baseada em zonas de trabalho. Logo, o Vico Office foi a ferramenta selecionada para o desenvolvimento do estudo. O uso desta versão do *software* foi viabilizado pela empresa desenvolvedora do *software*, a qual disponibilizou a licença para o desenvolvimento desta pesquisa. Com isso, foi realizado um treinamento do *software* Vico Office a partir de videoaulas, cursos *on-line* realizados e do manual do *software*.

Modelagem 3D do empreendimento, desenvolvimento do modelo 4D e elaboração do plano baseado em zonas de trabalho: primeiramente, em relação ao desenvolvimento do modelo BIM, foram definidas as finalidades do modelo e, na sequência, as estratégias e critérios utilizados para a modelagem BIM. O processo de modelagem se deu de forma iterativa e cíclica ao longo do estudo, sendo

necessário realizar algumas modificações no modelo 3D em determinados momentos. O modelo BIM desenvolvido foi avaliado e refinado em uma visita ao canteiro de obras e em uma reunião com representantes da Empresa A, em que estavam presentes o engenheiro responsável pelo empreendimento, o orçamentista, o funcionário responsável pela compatibilização de projetos e a empresa de consultoria.

Nesta etapa do estudo, foi realizada uma apresentação a fim de mostrar alguns benefícios da adoção de conceitos e princípios da produção enxuta, como o conceito de lotes de produção e transferência, fluxo contínuo e ininterrupto, ritmo de produção, redução do tamanho do lote e do trabalho em progresso, e o LPS. Além disso, foi discutido o potencial da utilização de BIM, particularmente no processo de projeto, PCP e gestão logística, principalmente no que diz respeito a visualização do fluxo de trabalho. Ao longo do trabalho, buscou-se resgatar e elucidar estes princípios e conceitos em situações práticas do estudo.

O desenvolvimento do modelo 4D e do plano baseado em zonas de trabalho foi realizado no *software* Vico Office, sendo que durante este estudo alocou-se grande parte do tempo para o entendimento e análise desta ferramenta e das etapas necessárias para a manipulação do *software*. O desenvolvimento desta etapa contemplou a extração e categorização dos elementos do modelo BIM em itens, a definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, a criação da estrutura de custos, a vinculação dos itens do modelo aos componentes de custo, a identificação das definições iniciais de planejamento, a elaboração do plano baseado em zonas de trabalho, que ocorreu de forma paralela e baseado no plano de longo prazo previamente desenvolvido pelos consultores, a vinculação da estrutura de custo ao plano, e a simulação 4D do Empreendimento E1.

Durante todo o estudo foi feito um mapeamento das etapas envolvidas, a fim de identificar e apresentar as etapas necessárias para desenvolvimento do PCP, o que contribuiu ao método, resultado deste trabalho. Além das 5 reuniões de planejamento de médio prazo, das 6 de curto prazo e das 7 visitas ao canteiro de obras, foram realizadas 8 reuniões com os consultores, com uma duração de cerca de 1h, a fim de discutir e refletir sobre a implementação do PCP baseado em zonas de trabalho e BIM. Ao final do estudo, foi realizada uma reunião final de apresentação dos resultados do estudo para a Empresa A. Nesta ocasião, foi possível discutir o potencial das melhorias propostas, em termos de benefícios para o PCP, particularmente com o uso de BIM.

Em relação ao sistema de indicadores utilizado pela Empresa A, foi criado um indicador para medir a ocorrência da falta de terminalidade nas zonas de trabalho e as suas causas. Este indicador complementar os demais indicadores já adotados pela empresa e surgiu a partir da necessidade

identificada de obter dados de tal problema recorrente na obra, para assim fornecer informações para tomar decisões a fim de reduzi-los. A partir de uma coleta de dados, realizada com o auxílio da empresa consultora no canteiro de obras, foi possível identificar o grau de terminalidade do Empreendimento E1 em um determinado momento da obra.

4.3.3 Etapa 2 - Estudo empírico 2

4.3.3.1 Descrição da Empresa B

A Empresa B tem sede na cidade de Canoas, Rio Grande do Sul, e possui mais de 35 anos de experiência no ramo de construção e incorporação. Os seus empreendimentos são caracterizados por possuírem um elevado número de unidades, além de apresentarem um elevado grau de repetitividade. O seu principal mercado de atuação são empreendimentos classe média e média-baixa, buscando ter um diferencial de alta qualidade frente aos seus concorrentes. A grande maioria de seus empreendimentos consistem em condomínios de casas, sobrados ou torres de apartamentos (de 5 a 8 pavimentos), e fazem parte do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Além disto, esta empresa também executa empreendimentos de edifícios residenciais para classe média-alta.

A Empresa B possuía um sistema planejamento e controle formalizado e utilizava alguns elementos do LPS. Este sistema havia sido desenvolvido por meio de alguns estudos realizados em parceria com a UFRGS, sendo que a empresa tem como característica manter programas de melhorias gerenciais. A empresa tinha interesse em melhorar o seu sistema de planejamento e controle da produção, bem como implementar BIM como meio para desenvolver seus projetos, além de utilizá-lo para outras finalidades, tais como gerar quantitativos e planejar a execução do empreendimento. O Empreendimento E2 foi a primeira experiência da empresa com BIM, sendo que há intenção de utilizar BIM em todos os seus empreendimentos.

Os membros do corpo técnico da empresa que mais se envolveram neste estudo foram o Engenheiro Civil responsável pelo Empreendimento E2 e o Arquiteto que atuava como gerente de projetos da empresa. Entretanto, houve também a participação do dono da empresa, demais engenheiros responsáveis por outras obras da empresa, além de responsáveis pelo orçamento e compras.

4.3.3.2 Descrição do Empreendimento E2

O Empreendimento E2 é localizado na cidade de Canoas, no Rio Grande do Sul, em um terreno de área de 8.887,65 m². Trata-se de um condomínio residencial multifamiliar, financiado pelo PMCMV, sendo composto por 150 apartamentos, divididos em 5 torres com 5 pavimentos cada, sendo 6 apartamentos

por andar (Figura 23 e Figura 24). Além das torres, o empreendimento compreende uma guarita, salão de festas, quiosque, quadra esportiva, playground, reservatórios, infraestrutura e arruamento. Este estudo ocorreu numa etapa inicial da obra, na qual foi possível acompanhar a execução dos serviços iniciais, principalmente relacionados as torres A e B.

Figura 23 – Imagem 3D da implantação do empreendimento



(Fonte: imagem da empresa)

Figura 24 – Implantação do empreendimento com identificação das torres e dos apartamentos



(Fonte: imagem da empresa)

As unidades habitacionais têm 49 m², compostos de dois dormitórios, um banheiro, e box privativo de estacionamento. Existem duas tipologias de apartamentos diferentes, sendo que a planta baixa das unidades das extremidades são idênticas (apartamentos 1, 2, 5 e 6 - Figura 25a), diferindo da planta baixa das unidades centrais (tipologia 3 e 4 - Figura 25b), que são iguais.

Figura 25 –Planta baixa (a) dos apartamentos de extremidade (01, 02, 05 e 06) e (b) dos apartamentos centrais (03 e 04)



(Fonte: imagem da empresa)

No que diz respeito à construção das torres, a fundação é do tipo estaca hélice contínua e vigas baldrame. As torres eram em alvenaria de bloco estrutural, sendo que as lajes, vigas e escadas eram moldadas *in loco*. Este estudo não contemplou apenas a construção das cinco torres, como também todas as demais áreas comuns do empreendimento. A entrega da obra é dividida em fases: primeiramente são entregues as torres A e B, seguidas respectivamente pelas torres C, D e E, uma após a outra. A Figura 26 mostra as diferentes fases de execução e seus respectivos prazos de vistoria para o habite-se, vistoria do agente financeiro, além da entrega para o cliente.

Figura 26 – Cronograma de entrega do empreendimento

Cronograma - EMPREENDIMENTO E3																													
mês/ano	dez/17	jan/18	fev/18	mar/18	abr/18	mai/18	jun/18	jul/18	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	jan/19	fev/19	mar/19	abr/19	ma/19	jun/19	jul/19	ago/19	set/19	out/19	nov/19	dez/19	jan/20	fev/20	mar/20	abr/20
Qtzde de meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
FASE I (BL. A + BL. B + SALÃO + GUARITA)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	CL-ENTE									
FASE II (BLOCO C)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	CL-ENTE									
FASE III (BLOCO D + QUISSOQUE)								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	CL-ENTE				
FASE IV (BLOCO E)												1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	CL-ENTE
VISTORIAS DE HABITE-SE (95% obra)																													
VISTORIA 100% - CAIXA																													
ENTREGA para CLIENTE																													

(Fonte: imagem da empresa)

4.3.3.3 Descrição das atividades realizadas

Diagnóstico da Empresa B e do Empreendimento E2: nesta etapa do estudo, buscou-se entender o PCP da empresa e o papel dos diferentes setores envolvidos. Primeiramente, foi realizada uma apresentação inicial, na qual foram discutidos os objetivos do estudo, bem como os potenciais da utilização da abordagem do PCP baseado em zonas de trabalho ao engenheiro civil responsável pela obra, e os responsáveis pela gestão de custos, planejamento e projetos. Além disso, buscou-se entender as expectativas da empresa com este estudo. Não só nesta etapa de diagnóstico, mas também nas

demais etapas deste estudo buscou-se identificar dificuldades enfrentadas pela empresa e oportunidades de melhoria de uma forma geral.

Para compreender as técnicas, ferramentas e o sistema de PCP da empresa, foi elaborado um roteiro para realizar uma entrevista semi-estruturada com o Engenheiro responsável pelo Empreendimento E2, com o Engenheiro responsável por outro empreendimento da empresa e com o Arquiteto responsável pela gestão de todos os projetos da empresa (2h de duração). Foram também feitas observações diretas e registros fotográficos em 2 visitas canteiro de obras (1h 30min de duração cada), 3 reuniões com o Engenheiro responsável pelo PCP do Empreendimento E2 (1h 30min de duração cada) e foram analisados dados qualitativos e quantitativos advindos de projetos e documentos da empresa (cronogramas, orçamento, planilhas das reuniões de longo e curto prazo, indicadores, diagrama de precedência das tarefas, definição dos lotes de produção e transferência, etc.).

Além disso, buscou-se verificar como era realizado o controle de qualidade e do avanço físico das tarefas executadas, analisar os dispositivos visuais utilizados para apoio ao planejamento e controle da produção, e também mapear as zonas de trabalho do Empreendimento E2, buscando identificar e discutir o tamanho dos lotes de produção e de transferência. Por fim, foi analisado como era realizado o orçamento dos empreendimentos e se o seu nível de detalhe era compatível ao planejamento.

Análise e adaptação do modelo BIM: como já havia um modelo BIM do Empreendimento E2, desenvolvido por um escritório de arquitetura contratado, o pesquisador primeiramente fez uma análise geral do modelo, buscando entender principalmente os LODs dos elementos do modelo, e avaliar seu potencial de uso para PCP. Com isso, o pesquisador buscou entender e analisar o processo de desenvolvimento do modelo. Para tal, foi realizada uma entrevista semi-estruturada com o arquiteto do escritório que desenvolveu o modelo em conjunto com o arquiteto responsável pela gestão de projetos da Empresa B (2h de duração).

O objetivo principal desta entrevista semi-estruturada foi entender como foi desenvolvido o modelo BIM do empreendimento. Além disso, buscou-se entender como foi realizada a captura de necessidades dos usuários do modelo, e como era o processo de colaboração entre o escritório contratado e a Empresa B. Além disso, foram discutidos alguns pontos identificados no modelo pelo pesquisador que poderiam ser revisados, e foi apresentado o *software* Vico Office, que seria utilizado no estudo, para que eles pudessem entender as necessidades de modelagem geradas pelo uso do modelo para PCP. Por fim, foram identificados os potenciais usuários do modelo e das simulações que seriam realizadas, foi

verificado se o modelo atendia as necessidades deste estudo e foram realizadas pequenas adaptações ao modelo para realização deste estudo.

Planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM: primeiramente, foi desenvolvido o planejamento inicial do empreendimento em conjunto com o Engenheiro Civil responsável pelo Empreendimento E2. Na sequência, foi realizada a transcrição deste planejamento desenvolvido no MS Project para o Vico Office, além de integrar esse ao modelo BIM. Então, foram feitas simulações 4D e análises a fim de atender o cronograma de entrega da obra, definir número de equipes para as tarefas mais críticas, ritmos e folgas de capacidade, para então definir qual a melhor estratégia para o plano de longo prazo. A partir destas informações, foi realizado o controle da produção pelo período de 15 semanas. Estas informações foram utilizadas ao longo das reuniões de PCP para apoiar a tomada de decisão. Nas reuniões era utilizado o notebook que continha o *software* adotado na pesquisa para manipular o modelo 4D, estudar a viabilidade de alternativas para o plano, visualizar a linha de fluxo e alimentar as informações de controle da produção. Além disso, eram utilizados relatórios com listas de tarefas a serem executadas em um horizonte de médio prazo, uma lista contendo o avanço físico de cada uma das torres, um quadro de controle que apresentava de forma visual o andamento das atividades de todo o empreendimento e a linha de fluxo extraída do *software*. Como não haviam muitos intervenientes envolvidos na etapa inicial da obra, as reuniões de curto prazo foram realizadas com o engenheiro responsável pela obra e com o seu estagiário. Logo, foram realizadas discussões a respeito das estratégias de controle da produção, a fim de definir como seria realizado o controle da execução do empreendimento ao longo das semanas de acompanhamento da evolução da obra. A grande maioria das reuniões semanais, realizadas no escritório localizado no canteiro de obras, duraram 1h e 30min, com exceção de 3 reuniões que tiveram a duração de 3h. Foi acompanhado o planejamento de longo e curto prazo, sendo que o planejamento de médio prazo foi uma necessidade identificada ao longo do estudo e iniciou a ser implementado pela empresa ao final do estudo.

4.4 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

Segundo March e Smith (1995), os produtos da DSR são avaliados segundo critérios de valor e utilidade. A contribuição da pesquisa está fortemente relacionada à novidade, na melhoria significativa do artefato e na persuasão de que as afirmações são verdadeiras (MARCH; SMITH, 1995). De acordo com Kasanen, Lukka e Siitonen (1993), a utilidade de uma construção gerencial não é provada até que um teste seja feito. Nesse sentido, o critério principal para avaliar os resultados de estudos aplicados é sua utilidade

prática, a qual tem implicações em questões como a relevância, simplicidade e facilidade de uso desses resultados (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993).

Com base nos autores neste capítulo citados e em estudos que já realizaram avaliações de artefatos, tais como Biotto (2012), Viana (2015), Ibarra (2016) e Bataglin (2017), foram propostos os constructos de utilidade e facilidade de uso para avaliar o método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM desenvolvido. A definição dos subconstructos, resultado do desdobramento dos constructos utilizados para avaliar o artefato, bem como suas fontes de evidência são apresentados na Figura 27.

Figura 27 – Descrição dos constructos, subconstructos, evidências e fontes de evidências

	SUBCONSTRUCTOS	EVIDÊNCIAS	FONTE DE EVIDÊNCIA
CONSTRUCTO Utilidade	Uso das informações do planejamento e das simulações 4D para a tomada de decisão	<ul style="list-style-type: none"> •Análise e identificação de quais as fontes de informações foram utilizadas para tomada de decisão •Análise da relevância das informações para a tomada de decisão 	<ul style="list-style-type: none"> •Observação participantes em reuniões de planejamento •Entrevistas abertas •Análise de documentos
	Método traz flexibilidade na tomada de decisão	<ul style="list-style-type: none"> •Possibilidade de gerar diferentes alternativas de execução (diferentes planos) 	<ul style="list-style-type: none"> •Observações participantes em reuniões de planejamento •Análise de documentos •Percepção do pesquisador
	Estímulo a um ambiente mais colaborativo	<ul style="list-style-type: none"> •Comunicação entre as pessoas •Colaboração no processo de PCP 	<ul style="list-style-type: none"> •Observação participante em reuniões de planejamento •Entrevistas abertas
	Estímulo ao aumento da transparência e disponibilidade de informações	<ul style="list-style-type: none"> •Uso de ferramentas visuais para discussão e divulgação do planejamento 	<ul style="list-style-type: none"> •Observação direta na obra e no escritório do uso de dispositivos •Percepção do pesquisador
	Método gera o efeito aprendizagem ao planejamento	<ul style="list-style-type: none"> •Análise de resultados e indicadores •Previsibilidade do andamento das atividades e da capacidade das equipes 	<ul style="list-style-type: none"> •Observação participantes em reuniões de planejamento •Entrevistas abertas •Análise de documentos
CONSTRUCTO Facilidade de uso	Compreensão das práticas, princípios e conceitos fundamentais do PCP baseado em zonas de trabalhos e BIM	<ul style="list-style-type: none"> •Disseminação das práticas, conceitos e princípios 	<ul style="list-style-type: none"> •Percepção do pesquisador •Observação participante •Entrevistas abertas
	Entendimento das decisões tomadas	<ul style="list-style-type: none"> •Participação e entendimento das pessoas em reuniões de planejamento 	<ul style="list-style-type: none"> •Percepção do pesquisador •Observação participante em reuniões de planejamento •Entrevistas abertas
	Esforço realizado na modelagem, no planejamento e no controle da produção	<ul style="list-style-type: none"> •Ponto de vista do pesquisador em se tratando do esforço realizado por ele 	<ul style="list-style-type: none"> •Percepção do pesquisador
	Aplicabilidade em diferentes contextos	<ul style="list-style-type: none"> •Abstração do método 	<ul style="list-style-type: none"> •Análise de documentos •Entrevistas abertas e semi-estruturadas

(Fonte: elaborado pelo autor)

5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na etapa 1, referente ao estudo exploratório e estudo empírico 1, e na etapa 2, referente ao estudo empírico 2.

5.1 ETAPA 1 - ESTUDO EXPLORATÓRIO

O modelo BIM utilizado como ponto de partida deste estudo apresentava algumas limitações referente às famílias de paredes criadas com uma tipologia composta a fim de atender as diferentes composições de materiais. Uma parede composta possui elementos totalmente agrupados, uma característica intrínseca desta tipologia de objetos paramétricos. Entretanto, o *software* utilizado (Vico Office) não conseguia identificar estas diferentes camadas e associa-las a diferentes atividades, podendo não satisfazer as necessidades de modelagem para fins de simulação 4D com uso do *software* Vico Office. Em função disso, optou-se por desenvolver um novo modelo com paredes em uma combinação de paredes de tipologia básica, apresentado na Figura 28.

Figura 28 – Modelo BIM da edificação estudada



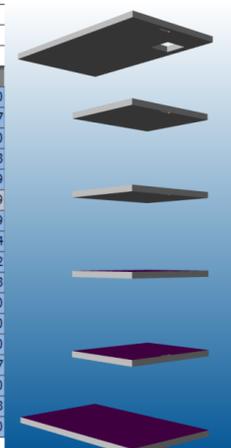
(Fonte: elaborado pelo autor)

A partir do Autodesk Revit, *software* utilizado para desenvolver o modelo BIM, foi exportado o modelo desenvolvido para o *software* Vico Office. Na sequência, foi feita a extração de elementos do modelo BIM, os quais foram agrupados em itens pelo *software*, segundo critérios definidos. Neste estudo, os elementos foram agrupados de acordo com suas tipologias (laje, parede, etc.), o que permitiu atender a necessidade de vinculação dos elementos do modelo com os componentes de custo e as tarefas. Este agrupamento foi viabilizado pelas ferramentas disponíveis, como o uso de filtros, que permitiu isolar as zonas de trabalho e as diferentes tipologia de elementos, e consequentemente permitiram agrupar elementos de acordo com as necessidades da estrutura de custo e do planejamento. Cada item, possui diversos parâmetros, como pode ser observado na Figura 29, a qual mostra as lajes da área de circulação

das torres com o parâmetro de área total de superfície selecionado. As quantidades destes parâmetros dos itens, subdivididas segundo as zonas de trabalho definidas, serviram para estabelecer os quantitativos dos componentes de custo correspondentes.

Figura 29 – Quantitativo de área de superfície de topo das lajes

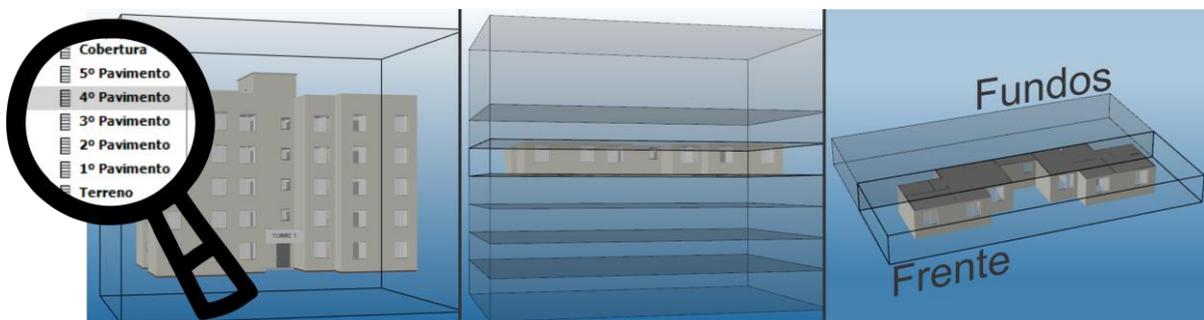
Name	Unit	Mapped	Project	Terreno	1º Pavimento	2º Pavimento
Count	EA	No	6,00	1,00	1,00	1,00
Edge Perimeter	M	No	87,37	18,24	12,47	12,47
Hole Count	EA	No	6,00	0,00	1,00	1,00
Hole Perimeter	M	No	8,36	0,00	1,03	1,03
Net Bottom Surface Area	M2	No	78,92	19,47	9,59	9,59
Net Top Surface Area	M2	Yes	78,92	19,47	9,59	9,59
Edge Surface Area	M2	No	17,47	3,65	2,49	2,49
Hole Surface Area	M2	No	0,85	0,00	0,04	0,04
Net Volume	M3	Yes	15,78	3,89	1,92	1,92
Gross Volume	M3	No	15,95	3,89	1,93	1,93
Joint Horizontal Surface Area	M2	No	0,00	0,00	0,00	0,00
Joint Vertical Surface Area	M2	No	1,36	0,00	0,00	0,00
Piece Count	EA	No	7,00	1,00	1,00	1,00
Edge Length	M	No	87,37	18,24	12,47	12,47
Joint Length	M	No	6,82	0,00	0,00	0,00
Hole Edge Length	M	No	8,36	0,00	1,03	1,03
Hole Joint Length	M	No	0,00	0,00	0,00	0,00



(Fonte: elaborado pelo autor)

Com os elementos agrupados segundo itens, foi então definida a estrutura hierárquica de zonas de trabalho a partir do reconhecimento dos níveis dos pavimentos originalmente definidos no *software* de modelagem, atendendo as necessidades do estudo e sem efetivamente interferir no modelo original. Esta estrutura, que pode ser observada na Figura 30, foi dividida em terreno, 1º ao 5º pavimento e cobertura, e os pavimentos ainda foram subdivididos em frente e fundos a fim de identificar a possibilidade de redução do tamanho dos lotes.

Figura 30 – Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, com o quarto pavimento isolado e a divisão do pavimento em frente e fundos



(Fonte: elaborado pelo autor)

Após o agrupamento dos elementos do modelo em itens e da definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, foi realizada a etapa de inserção da estrutura de custos (Figura 31). Em seguida, os parâmetros dos itens foram vinculados aos componentes de custo, o que indiretamente vincula os elementos do modelo a estrutura de custo. Nesse sentido, estes parâmetros podem ser vinculados a

mais de um componente de custo, visto que diferentes parâmetros (área, volume, etc.) permitem definir quantitativos diversos, e isso implica que não seja necessário que cada componente de custo possua um elemento correspondente modelado. Os quantitativos foram estabelecidos em função de fórmulas e foram subdivididos segundo as zonas de trabalho definidas.

Figura 31 – Parte da estrutura de custos

Code	Description	Sour.	Cons.	Cons.	Waste	Qty	UOM	Unit Cost	Base Cost	Cost/Par.	%/Parent.
000	Estudo Exploratório BIM	1,00	1,000	1,000	1,000	1,00		1.105.451,97	▲ 1.105.45...	N/A	N/A
1.1	Serviços Iniciais	2.400,00	1,000	1,000	1,000	2.400,00	-	4,99	▲ 11.975,10	11.975,10 /	1,08%
1.1.1	Limpeza do Terreno	2.400,00	1,000	1,000	1,000	2.400,00	-	4,42	10.608,00	4,42 / -	88,58%
1.1.2	Locação da Obra	210,00	1,000	1,000	1,000	210,00	-	6,51	1.367,10	0,57 / -	11,42%
1.8	Revestimentos	1,00	1,000	1,000	1,000	1,00	-	156.546,25	▲ 156.546,25	156.546,25 /	14,16%
1.8.2	Revestimento Interno	2.430,92	1,000	1,000	1,000	2.430,92	-	36,53	88.801,67	88.801,67 / -	56,73%
1.8.1	Revestimento Externo	1.452,50	1,000	1,000	1,000	1.452,50	-	46,64	67.744,58	67.744,58 / -	43,27%
1.9	Piso	1.149,52	1,000	1,000	1,000	1.149,52	-	64,10	73.684,01	73.684,01 /	6,67%
1.2	Infraestrutura	1,00	1,000	1,000	1,000	1,00	-	179.480,20	▲ 179.480,20	179.480,20 /	16,24%
1.2.1	Escavação mecanizada	60,00	1,000	1,000	1,000	60,00	-	3,08	184,80	184,80 / -	0,10%
1.2.2	Fundações profundas	306,00	1,000	1,000	1,000	306,00	-	537,91	164.600,46	164.600,46 /	91,71%
1.2.3	Vigas de fundação	26,00	1,000	1,000	1,000	26,00	-	565,19	14.694,94	14.694,94 / -	8,19%
1.4 (1)	Supraestrutura Tipo 3	1,00	1,000	1,000	1,000	1,00	-	52.828,03	▲ 52.828,03	52.828,03 /	4,78%
1.4.2	Alvenaria estrutural	446,39	1,000	1,000	1,000	446,39	-	81,05	36.179,61	36.179,61 / -	68,49%
1.4.1	Laje piso	26,27	1,000	1,000	1,000	26,27	-	590,83	15.521,43	15.521,43 / -	29,38%
1.4.3	Escada	1,91	1,000	1,000	1,000	1,91	-	590,83	1.126,99	1.126,99 / -	2,13%
1.4 (2)	Supraestrutura Tipo 4	1,00	1,000	1,000	1,000	1,00	-	45.663,27	▲ 45.663,27	45.663,27 /	4,13%
1.4.2	Alvenaria estrutural	446,39	1,000	1,000	1,000	446,39	-	81,05	36.179,61	36.179,61 / -	79,23%
1.4.1	Laje piso	14,20	1,000	1,000	1,000	14,20	-	590,83	8.390,26	8.390,26 / -	18,37%
1.4.3	Escada	1,85	1,000	1,000	1,000	1,85	-	590,83	1.093,40	1.093,40 / -	2,39%

(Fonte: elaborado pelo autor)

O plano da torre estudada foi desenvolvido com base em uma lista de tarefas elaborada, em que cada uma das tarefas foi vinculada a um componente da estrutura de custos (Figura 32). Logo, o orçamento foi estruturado de forma a atender as necessidades do planejamento. Com isso, o volume de trabalho a ser realizado (em horas) foi definido a partir dos parâmetros de produtividade inseridos (unidade de medida/hora de trabalho), e a duração das atividades foi definida a partir da relação entre o volume de trabalho e a capacidade da produção fornecida. As tarefas, foram alocadas a um nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, o que permitiu definir o lote de produção das mesmas e então definir as relações lógicas de dependências entre as tarefas.

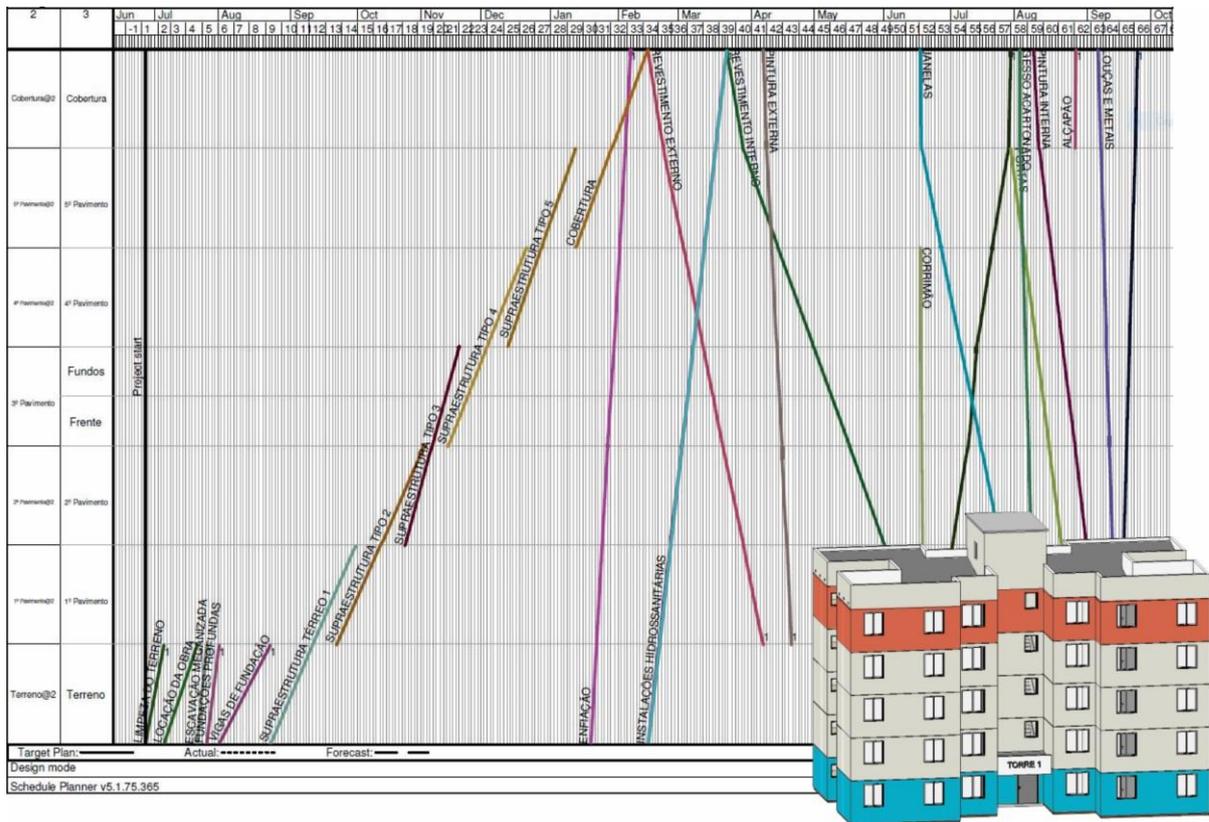
Figura 32 – Parte da vinculação dos elementos de custo às tarefas do planejamento

Code	Name	Qty	UOM	Hrs/UOM	UOMHr	Work	Duration
1.1_INI	SERVIÇOS INICIAIS						16,50
INI_01	LIMPEZA DO TERRENO					48,00	6,00
1.1.1	Limpeza do Ter...	2.400,00	-	0,02	50,00	48,00	
INI_02	LOCAÇÃO DA OBRA					84,00	10,50
1.1.2	Locação da Obra	210,00	-	0,40	2,50	84,00	
1.2_INF	INFRAESTRUTURA						23,07
INF_01	ESCAVAÇÃO MECANIZADA					24,00	3,00
1.2.1	Escavação mec...	60,00	-	0,40	2,50	24,00	
INF_02	FUNDAÇÕES PROFUNDAS					30,60	3,82
1.2.2	Fundações pro...	306,00	-	0,10	10,00	30,60	
INF_03	VIGAS DE FUNDAÇÃO					130,00	16,25
1.2.3	Vigas de funda...	26,00	-	5,00	0,20	130,00	
1.3_SUPRA_TÉ...	SUPRAESTRUTURA TÉRREO 1						21,44
SUP_TÉRREO...	LAJE PISO TÉRREO 1					40,35	5,04
1.3.1	Laje piso térreo	28,25	-	1,43	0,70	40,35	
SUP_TÉRREO...	ALVENARIA ESTRUTURAL TÉRREO 1					126,52	15,82

(Fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, foi obtida a linha de fluxo e o modelo 4D, apresentados na Figura 33. Na tentativa de melhor sincronizar as tarefas, foram ajustados os ritmos de produção, manipulando a inclinação das linhas que representam as tarefas, o que automaticamente refletiu nas datas de término e nos parâmetros de produtividade das tarefas.

Figura 33 – Plano representado pela linha de fluxo e modelo 4D



(Fonte: elaborado pelo autor)

5.1.1 Contribuições do estudo exploratório

As contribuições deste estudo estão focadas em aspectos operacionais de modelagem e na utilização do *software* que mais incorpora a ideia do método a ser proposto nesta pesquisa, o que consequentemente contribuiu para os estudos subsequentes deste trabalho. A importância deste estudo está na aprendizagem sobre a operacionalização do planejamento baseado em zonas de trabalho, e no entendimento das etapas básicas necessárias para planejar um empreendimento segundo esta abordagem com tais ferramentas, que são: (a) desenvolvimento do modelo BIM; (b) importação do modelo BIM; (c) extração dos elementos do modelo e agrupamento em itens; (d) definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho; (e) definição da estrutura de custos e vinculação com os quantitativos; (f) definição das tarefas, precedências e demais parâmetros; (g) gerar o plano e simulações 4D.

Além destas contribuições, o estudo exploratório permitiu identificar que a sequência de passos para a construção do modelo 4D não é linear nesta versão do *software* utilizado. Esta iteração modelo BIM – custo – planejamento, gera um fluxo de informações do 3D – 5D – 4D, ou seja, para desenvolver todo o escopo do planejamento foi necessário que anteriormente fosse inserido o modelo BIM e a os dados relativos ao custo. Ademais, foi possível identificar que alterações gráficas e visuais realizadas, como a manipulação dos ritmos das tarefas, reflete diretamente no banco de dados do projeto.

Por fim, este estudo permitiu verificar que um modelo BIM pode não atender as necessidades de um uso específico, visto as necessidades demandadas pelos *software* ou até mesmo pelos usuários do modelo. Logo, o ideal é que o modelo seja desenvolvido para uma finalidade, e que as necessidades decorrentes deste uso sejam identificadas, visto que a compreensão da necessidade de informação é crucial para o fornecimento e a manipulação dos dados dentro do *software*.

5.2 ETAPA 1 - ESTUDO EMPÍRICO 1

5.2.1 Sistema de Planejamento e Controle da Produção existente na Empresa A

Inicialmente, foi realizado o mapeamento do sistema de PCP adotado pela Empresa A. Com a finalidade de esquematizar todo este processo, foi elaborado um fluxograma, apresentado no Apêndice A por questões de visualização, e descrito a seguir.

A Empresa A já possuía um sistema de planejamento estabelecido, entretanto o mesmo estava passando por um processo de melhorias com base nos princípios e conceitos *Lean*. O Sistema *Last Planner*, adotado para reduzir a variabilidade e a incerteza presente nos fluxos de trabalho do empreendimento, já era o sistema adotado na empresa, mas ainda estava passando pelo processo de implementação e de aprimoramento. Esta implementação do LPS era realizada pela empresa de consultoria, que havia feito o estudo de PSP do empreendimento, anterior ao início da execução do Empreendimento E1. De forma conjunta, o engenheiro responsável pelo empreendimento, que é gerente da empresa, o corpo técnico da obra, os setores de compras, orçamentação e projetos participavam e contribuíam para que este planejamento hierarquizado fosse implementado e contribuísse para alcançar as metas desejadas.

Em relação ao planejamento em um nível estratégico, quando um novo empreendimento era lançado, a equipe em um nível gerencial realizava as definições de prazos de entrega (final e parciais), financiamento e critérios de medição. Tanto estas informações, como os projetos, orçamentos e especificações serviam de base para as definições do PCP. Estas definições, realizadas pela empresa de consultoria em conjunto com os gestores da empresa, são compostas por: (a) datas marco, que

representavam datas importantes à empresa como entrega do empreendimento, início ou término de uma etapa importante da obra; (b) sequenciamento das atividades, que buscava definir um fluxo de trabalho ideal às necessidades da empresa; (c) a definição de lotes de produção e transferência; (d) o *layout* do canteiro de obras; (e) estudo da logística do canteiro de obras; (f) o plano de ataque; (g) o diagrama de sincronia; (h) a linha de balanço; o histograma de mão-de-obra e de equipamentos; e (i) a identificação de restrições em um nível macro, que refere-se a restrições que demandavam de mais tempo de aquisição ou contratação. Além disso, no planejamento de longo prazo era realizada a aquisição de recursos classe 1, os quais possuem um longo ciclo de aquisição e baixa repetitividade deste ciclo (FORMOSO, 1999). Todas estas definições contribuíam para que o plano mestre, referente ao horizonte de longo prazo, considerasse aspectos críticos ao planejamento e controle, como lotes de produção, ritmo, sincronização e fluxo de trabalho. Este plano era representado por uma linha de balanço.

Em um nível tático, as atividades que deveriam ser executadas em um horizonte de 3 meses eram detalhadas e agrupadas em uma lista (Figura 34a) e entravam nas pautas das reuniões de médio prazo, que aconteciam quinzenalmente na sede da Empresa A. Os consultores eram os mediadores destas reuniões, participando ativamente das decisões, visto que eles eram responsáveis pelo planejamento em um nível tático. Além dos consultores, as decisões eram tomadas em conjunto com os funcionários dos setores de projetos, orçamento, compras e planejamento, que também ficavam responsáveis pela identificação, análise e remoção de restrições. A partir da linha de balanço e com base no gráfico de desvio de ritmo, nas reuniões de médio prazo eram analisados os prazos e *buffers* de atividades críticas e gargalos, os quais possuem uma capacidade que limita a capacidade de produção de todo o sistema. Grande parte do tempo destas reuniões era utilizada para a identificação e análise de restrições, que dava origem a lista de restrições (Figura 34b), as quais poderiam ter diferentes origens, que são: material, mão-de-obra, equipamento, método para ser executada, projeto, espaço disponível, segurança ou qualidade. Com isso, os funcionários presentes na reunião se comprometiam em remover as restrições até a data estipulada. A partir da remoção das restrições pelos mesmos, as atividades que dependiam somente desta restrição ficavam aptas a serem executadas. Os consultores ao final da reunião realizam a análise do comprometimento das equipes com as restrições. Neste nível de planejamento era também realizada a programação de compras, contratação e/ou aluguel de recursos classe 2, os quais possuem um ciclo de aquisição de média frequência, e inferior a 30 dias (FORMOSO, 1999).

Em um nível operacional, as atividades que deveriam ser executadas e tiveram as suas restrições removidas, eram detalhadas em pacotes de trabalho, pela empresa consultora, a fim de serem executadas na semana. As reuniões de curto prazo, que aconteciam semanalmente no escritório do canteiro de obras, tinham a participação dos encarregados pela fiscalização dos serviços em execução

e a técnica de edificações, contratados da Empresa A, bem como os representantes de cada subempreiteiro e a empresa consultora, que era quem conduzia a reunião. Na atualização do plano semanal, havia uma preocupação da empresa de consultoria em balancear as equipes, sendo que os subempreiteiros concordavam com o plano definido para a semana seguinte e se comprometiam com a execução das atividades. Ao final da semana, os funcionários da Empresa A responsáveis pela fiscalização da execução, deveriam preencher os *checklists* de qualidade e identificar se os pacotes de trabalho foram concluídos ou não, para que se identificasse a necessidade reprogramá-los. Neste nível de planejamento era também realizada a programação de recursos classe 3, os quais possuíam uma grande quantidade de curtos ciclos de aquisição (uma semana), e o pedido era realizado a partir do controle dos estoques da obra (FORMOSO, 1999).

Figura 34 – (a) plano de médio prazo e (b) lista de restrições

Empreendimento E1		PLANO DE MÉDIO PRAZO								Engenheiro: xxxxxx		Período		12
										Técnico: xxxxxxxx		04/07/16 A 25/09/16		
Atividades		Restrição nº	jul/16	jul/16	jul/16	jul/16	ago/16	ago/16	ago/16	ago/16	set/16	set/16	set/16	set/16
			S 36 4 a 10	S 37 11 a 17	S 38 18 a 24	S 39 25 a 31	S 40 1 a 7	S 41 8 a 14	S 42 15 a 21	S 43 22 a 28	S 44 29 a 4	S 45 5 a 11	S 46 12 a 18	S 47 19 a 25
6	Alvenaria A5	97												
10	Alvenaria B4													
18	Estrutura concreto / Escada A5													(a)
19	Estrutura concreto / Escada B1													(a)
LISTA DE RESTRIÇÕES		Empreendimento E2		SEMANAS				Período 31						
Nº	Descrição da Restrição (Projeto, Materiais, Equipamentos, MO, Espaço, Segurança)	Responsável	Data limite p/ remoção da restrição	05/04 a 11/4	12/04 a 18/4	19/04 a 25/4	26/04 a 2/5	Encaminhado	Status	Nova data	Observações			
286	Comprar materiais para PVs e tubos bacia de contenção	xxxx	31/3/2017						NÃO	12/4/2017				
290	Revisar cronograma obras complementares em função da compatibilização entre fossa	xxxx	24/3/2017						NÃO	10/4/2017	(b)			

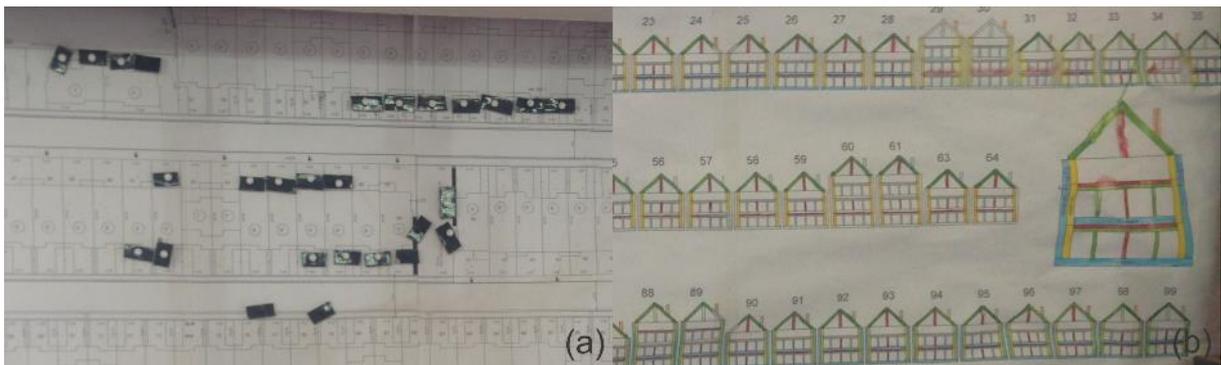
(Fonte: Empresa A)

O sistema de indicadores da Empresa A, utilizado nos ciclos de controle da produção, era composto por três indicadores: o desvio de ritmo, que era utilizado para controlar atividades definidas como críticas ao planejamento, sendo este indicador utilizado pelos consultores como base para discussão nas reuniões de médio e curto prazo, o índice de remoção de restrições (IRR) que era utilizado para verificar a eficácia do processo de remoção de restrições no médio prazo, e era determinado a partir da relação entre as restrições removidas e as identificadas, e o percentual de pacotes concluídos (PPC), utilizado para acompanhar o desempenho dos planos de curto prazo e servia como base para discussões nas reuniões de médio e curto prazo. O PPC era determinado pela relação entre o número de pacotes de trabalho planejados que foram executados integralmente e a quantidade total de pacotes planejados.

O controle do avanço físico do empreendimento era feito pelo gráfico de desvio de ritmo e pela planilha do banco financiador, na qual era lançado o número de unidades executadas em cada período de

medição, sendo grande parte dos serviços controlados por casa. Além da linha de balanço e do gráfico de desvio de ritmo utilizados, foram observados mais alguns dispositivos visuais que serviam de suporte ao PCP, principalmente em um nível operacional. Estes dispositivos foram criados com o intuito de facilitar a comunicação da informação entre os funcionários e facilitar o controle da informação. A planta de implantação do empreendimento, foi colocada em um painel no escritório da obra, e foram utilizados retângulos feitos de papelão preto alfinetados, para identificar e modificar os locais onde estavam os andaimes, facilitando também a identificação de onde as frentes de trabalho dos serviços relacionados a tais recursos estavam (Figura 35a). Além deste, neste painel constava uma ilustração das casas em corte, que servia para acompanhar a execução dos serviços ali controlados (Figura 35b). Este dispositivo era preenchido com diferentes cores, pelos funcionários responsáveis por fiscalizar tais atividades na medida em elas aconteciam, as diferentes cores representavam as diferentes atividades.

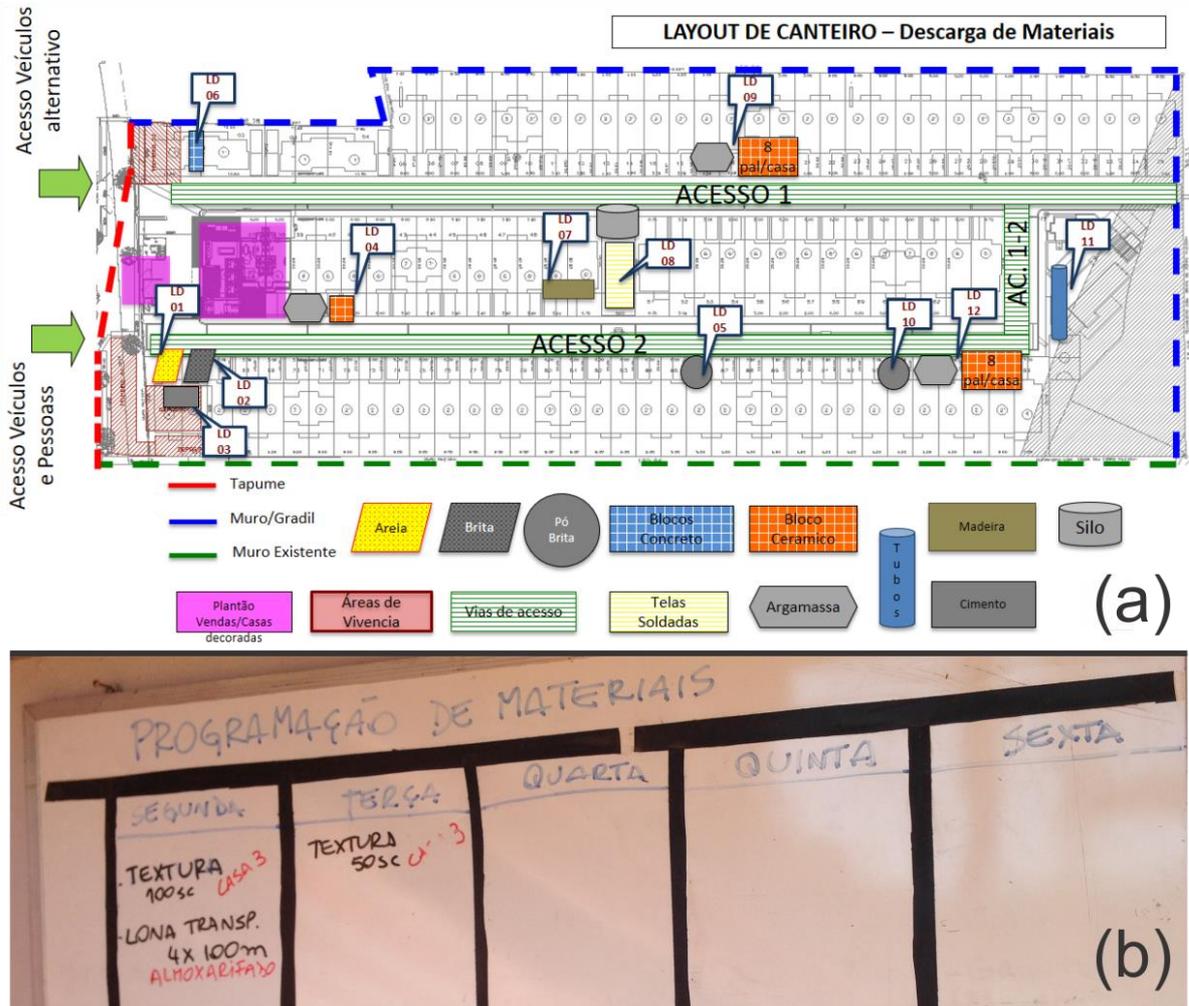
Figura 35 – (a) Identificação dos locais dos andaimes e (b) controle do avanço físico dos serviços executados



(Fonte: fotos do autor)

Além destes, foram utilizados dispositivos visuais a fim de dar suporte à programação de materiais. A partir do estudo do *layout* do canteiro de obras realizado, foi possível definir locais de estocagem dos materiais, áreas de acesso, o escritório e demais áreas do canteiro de obras. Os locais de descarga, denominados de LD pela Empresa A, e as demais áreas foram dispostas em uma planta baixa (Figura 36a), sendo que os locais foram representados em diferentes cores e formas, o que permitia identificar de forma clara todas estas informações. Ainda, com base neste *layout* e nas entregas de material, foi feito um quadro de programação das entregas, que permitia identificar quando seria entregue um determinado material e onde ele deveria ser descarregado e estocado (Figura 36b), evitando que no dia da entrega fosse necessário identificar um local para tal descarregamento.

Figura 36 – (a) *Layout* do canteiro de obras com as áreas de descarga de materiais e (b) Quadro da programação da entrega de materiais



(Fonte: Empresa A)

5.2.2 Análise da situação em que se encontrava a Empresa A e o Empreendimento E1

Em todos os níveis de planejamento da Empresa A, a tomada de decisão era centralizada em poucas pessoas. Nos níveis estratégico e tático, a tomada de decisão era centralizada no dono da empresa, que era o mesmo engenheiro responsável pelo empreendimento E1. Sendo assim, nas reuniões era necessário que ele estivesse a par de todos os assuntos relacionados à obra, e a sua ausência poderia comprometer o andamento das mesmas. Em um nível operacional, a tomada de decisão era centralizada na técnica de edificações que ficava sempre presente no canteiro de obras. Esta funcionária era a que mais participava na reunião de curto prazo e não dava muita autonomia aos demais funcionários. Conforme discutem De Miranda Filho *et al.* (2006), em que comparam diferentes modos de gestão nas diferentes estruturas organizacionais da construção civil, a melhoria do PCP requer a descentralização na tomada de decisão, o que gera a necessidade de desenvolvimento dos funcionários, explorando as suas competências, de forma que eles possam trabalhar de forma mais autônoma. Nesse sentido, o

autor afirma que a redução de folgas de tempo e prazo do projeto, tornam os gestores num gargalo informacional, caso as decisões não se tornem descentralizadas. Este ponto de vista do referido autor refletia a realidade da Empresa A.

Neste empreendimento, a alta repetitividade das unidades fazia com que a utilização de um protótipo físico fosse uma oportunidade de aprendizado para as demais unidades, pois permitia identificar quantitativos, compatibilizar projetos, identificar restrições que pudessem passar despercebidas, dentre outras melhorias. Entretanto, a casa modelo, como era denominado o protótipo físico do Empreendimento E1, serviu apenas para detectar algumas incompatibilidades e necessidades de modificação de projetos. Percebeu-se que a casa modelo demorou para ser executada, e muitas outras unidades foram executadas em paralelo, trazendo ganhos limitados ao projeto, aos processos e ao planejamento. Este protótipo poderia ter ajudado a evitar ou corrigir diversos problemas que emergiram e já estavam espalhados pela obra, como por exemplo, a colocação dos quadros de automação nas casas que fez com que a parede de *drywall* ficasse com uma espessura maior do que a inicial executada. Estes problemas geraram retrabalho, aumento do trabalho em progresso e falta de terminalidade das atividades. Logo, esta situação evidencia que o uso de BIM poderia contribuir como uma forma de prototipagem virtual do empreendimento, forçando os projetistas a fornecerem uma quantidade maior de informações e identificando as incompatibilidades de projeto antes mesmo da execução iniciar.

A partir de observações diretas, realizadas em visitas ao canteiro de obras e reuniões curto prazo, foi possível constatar diversos casos de problemas relacionados a falta de terminalidade e antecipação de atividades, dos quais, três casos considerados mais relevantes, foram apresentados neste trabalho. No primeiro caso identificado, a execução do forro foi iniciada antes de todos os dutos serem finalizados, o que não permitiu que o forro fosse finalizado e trouxe problemas para a sua altura. Além disso, optou-se por antecipar a atividade de execução dos azulejos, que também não pôde ser concluída, pois o forro deveria ser finalizado antes para que fosse possível dar acabamento (Figura 37a). No segundo caso, para realizar a medição de um item de maior custo, foi executado o revestimento de piso da escada antes da parede ser emplacada. Essa antecipação gerou um acréscimo grande de tempo ao emplacamento da parede pelo fato de que as placas tiveram que ser recortadas minuciosamente para dar acabamento ao piso, além de trazer prejuízos a qualidade final do produto (Figura 37b). No terceiro caso, a solução construtiva implicou em falta de terminalidade das atividades antecessoras. Como não foi previsto uma espera para o assentamento do peitoril da janela, foi necessário, após a finalização do plaqueamento quebrar a parede, o que gerou a falta de terminalidade das atividades antecessoras, e consequentemente pacotes de retrabalhos que não estavam previstos no planejamento (Figura 37c).

Figura 37 – (a) Antecipação do assentamento dos azulejos, (b) antecipação da colocação do revestimento da escada e (c) quebra das paredes e das plaquetas para assentamento do peitoril da janela



(Fonte: fotos do autor)

Estes casos, discutidos com a Empresa A e a empresa de consultoria, evidenciaram que a falta de terminalidade das atividades identificadas gerou conflitos com outros serviços, prejudicou a qualidade, aumentou a complexidade e o tempo de execução das atividades relacionadas, contribuiu para o aumento do trabalho em progresso e gerou custos extras. Além disso, gerou uma maior movimentação de materiais, equipamentos e equipes que deram sequência ao trabalho nas zonas de trabalho seguintes para posteriormente retornar e finalizar a atividade. A falta de terminalidade acabou gerando atividades que não agregam valor e dificultou o controle da produção, visto que houve um espalhamento das atividades pelo canteiro de obras. Além destas constatações, foi identificado que a antecipação de atividades está diretamente relacionada a falta de terminalidade, e que uma contribui para o aumento da outra.

5.2.3 Fase de implementação

A fase de implementação foi subdividida em seis seções para fins de entendimento. Primeiro, são apresentadas as definições de uso do modelo BIM e o processo de modelagem 3D, seguidos pelas definições iniciais de planejamento e definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho. Estas duas primeiras seções serviram de base para as três seções subsequentes, que envolve as etapas fundamentais associadas ao desenvolvimento do modelo 4D, a elaboração do plano e o uso do modelo 4D. Por fim, a sexta seção apresenta as mudanças identificadas durante este estudo.

5.2.3.1 Definições do uso modelo BIM e o processo de modelagem 3D

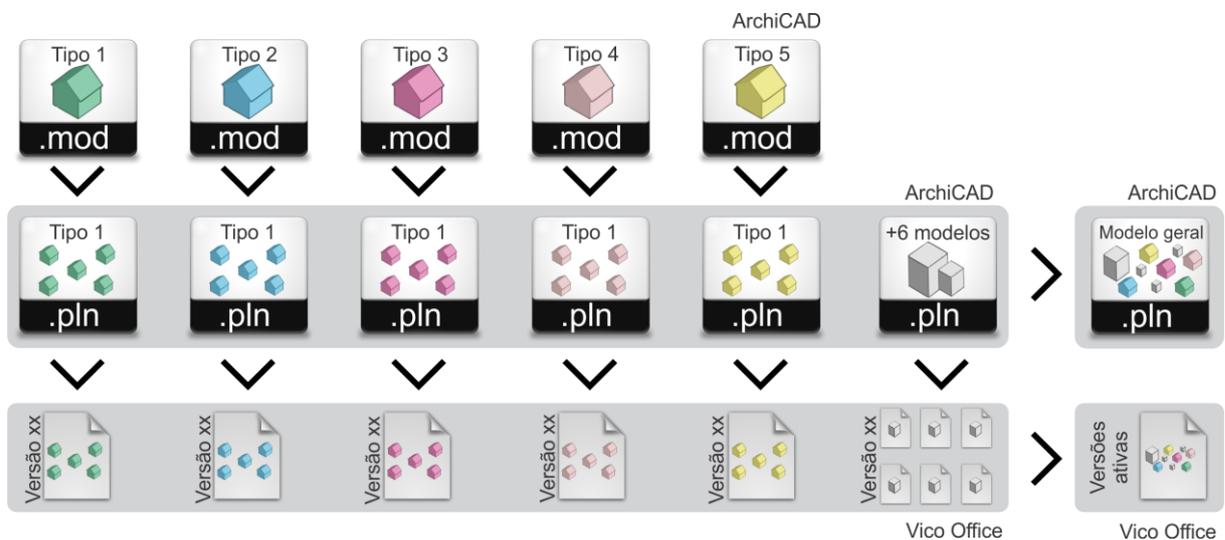
Inicialmente, foram levantadas todas as informações referentes aos projetos para o pesquisador realizar a modelagem do empreendimento no ArchiCAD, que são basicamente as plantas baixas e cortes dos projetos arquitetônicos. Além disso, foram identificados os potenciais usuários do modelo, que eram: o engenheiro responsável pelo empreendimento, os funcionários dos setores de projetos, orçamento e

planejamento, e os consultores, que auxiliaram a identificar as necessidades que o modelo deveria atender, em termos de detalhamento e rigor na modelagem. O modelo foi desenvolvido com o intuito de ser utilizado para fins de PCP, de maneira a contribuir nas reuniões de médio e curto prazo, no que se refere a visualização dos fluxos da produção, identificação de conflitos espaciais, auxílio na identificação de restrições, verificação do ritmo e sincronização das tarefas.

O *software* adotado para PCP (Vico Office) permitiu subdividir o modelo BIM segundo as zonas de trabalho definidos, o que permite simular diferentes lotes de produção sem a necessidade de ter atenção para “fatiar” os elementos modelo para atender as necessidades de simulação 4D, advindas das próprias equipes de produção. Por outro lado, foi necessário ter atenção ao definir as tipologias dos elementos (laje, viga, etc.), materiais e *layers*, visto que a categorização dos elementos em itens, realizada para viabilizar a vinculação destes ao orçamento e ao planejamento, posteriormente realizada no Vico Office, era dependente deste tipo de informação.

A modelagem do empreendimento foi desmembrada em 11 modelos independentes para facilitar futuras alterações do modelo e a exportação do modelo BIM desenvolvido no ArchiCAD para o *software* Vico Office. Além disso, tendo em vista a necessidade de replicação dos modelos das cinco casas tipo, que se repetem ao longo do projeto, e a fim de permitir que as alterações realizadas em uma das casa refletissem em todas as cópias desta, de forma automática, foram utilizados módulos associados (.mod) replicados nos locais correspondentes. Da mesma forma, as áreas comuns também foram modeladas em arquivos individuais independentes. O processo de modelagem é resumido na Figura 38, a qual mostra o desmembramento dos arquivos referentes ao Empreendimento E1.

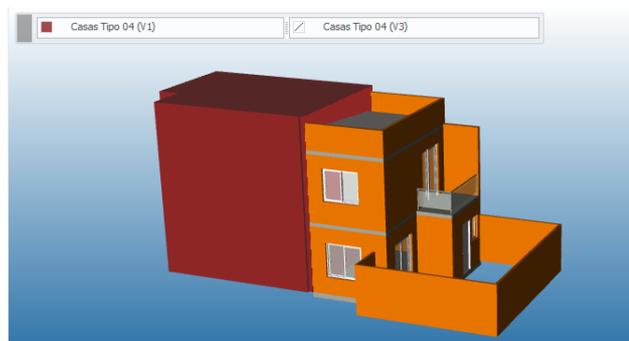
Figura 38 – Arquivos de modelagem utilizados no estudo



(Fonte: elaborado pelo autor)

Em seguida, foi iniciada a modelagem das cinco tipologias de casas, salão de festas, piscina, portaria, sistema de drenagem e de esgoto sanitário, bacia de contenção, pavimentações e terreno. A modelagem progressiva permitiu, em um primeiro momento, que alguns espaços fossem modelados com LOD 100, a fim de apenas representar a volumetria e localização destas construções, e ao longo do estudo os elementos foram sendo desenvolvidos e chegaram ao LOD 200 e 300. A Figura 39 exemplifica a modelagem progressiva, evidenciada pela comparação de duas diferentes versões do modelo de uma das casas tipo.

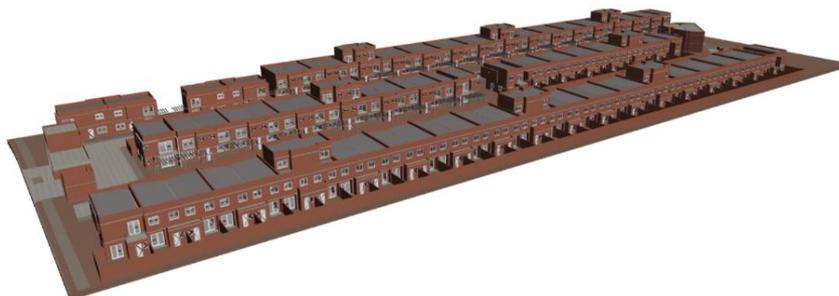
Figura 39 – Ferramenta de comparação de versões dos modelos permite ver a diferença entre o nível de detalhe da versão 1 para a versão 3 da casa tipo 4



(Fonte: elaborado pelo autor)

Ao longo do estudo foi contabilizado o tempo total de modelagem, resultando em 38 horas de trabalho. Isto representa todas as horas de trabalho dispendidas em todas as diferentes versões dos modelos dentro do ArchiCAD (Figura 40). Este processo de modelagem foi iterativo vista a necessidade de constantemente desenvolver os elementos (aumentando o LOD), corrigir e refinar o modelo ao longo do estudo, e assim exportá-los ao *software* Vico Office.

Figura 40 – Modelo BIM do Empreendimento E1



(Fonte: elaborado pelo autor)

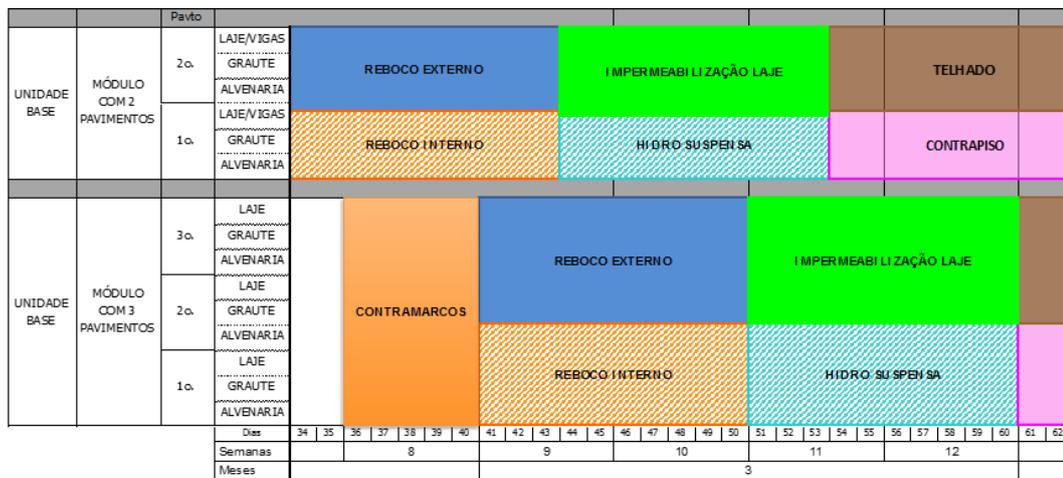
5.2.3.2 Definições iniciais de planejamento e da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho

Em um primeiro momento, a empresa de consultoria em conjunto com a Empresa A, definiram o sequenciamento das atividades das casas e das demais áreas comuns e de acesso. Apesar do

Empreendimento E1 ser composto por casas de tipologias diferentes, os quantitativos e o volume de trabalho delas são similares, com exceção da casa tipo 3, que possui três pavimentos, e das casas do tipo 1 que são maiores. Nesse sentido, o sequenciamento das atividades das casas foi definido a partir de uma unidade base repetitiva definida pelos consultores, a partir do qual foi elaborado um diagrama de precedência.

A partir do diagrama de precedência e do sequenciamento da execução da unidade base, o empreendimento foi dividido em lotes para fins de planejamento e controle. Os lotes são compostos de módulos de 6 ou 7 casas, definidos a partir das dimensões do *radier* e do balanceamento do volume de trabalho, e tem como base as tarefas críticas, que podem representar um gargalo para a produção e limitar a capacidade de produção de todo o sistema. Estas tarefas críticas foram definidas a partir da experiência das empresas A e de consultoria. Então, foi definido que os ciclos de produção dos módulos definidos seriam de uma semana ou múltiplos dessa. Isso pode ser observado nos dois diagramas de sincronia, representados em parte na Figura 41, desenvolvidos pela empresa de consultoria com o intuito de sincronizar alguns dos serviços a serem executados nos módulos, como por exemplo, na etapa intermediária da obra, os serviços externos de reboco, impermeabilização da laje e telhado, e os serviços internos de reboco, instalação hidrossanitária suspensa, execução do contrapiso. Ao analisar estes documentos notou-se que houve uma preocupação dos consultores em estabelecer um ritmo para a produção, o que consequentemente implicou numa simplificação, que diz respeito a definição de apenas dois ciclos de produção para as 5 tipologias de casas, um para os módulos de casas de dois pavimentos e outro para os módulos de casas de três pavimentos.

Figura 41 – Parte dos diagramas de sincronia da unidade base dos módulos de casas com dois e três pavimentos

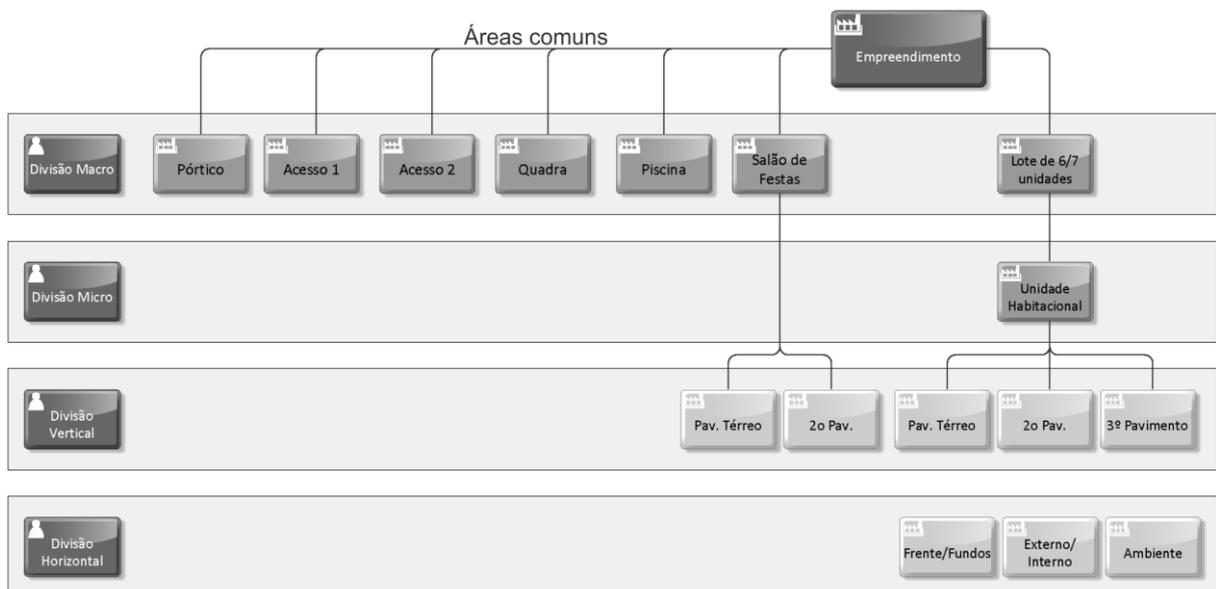


(Fonte: empresa A)

Com base nestas informações, a estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E1 foi definida pelo pesquisador, a qual está apresentada na Figura 42. Esta hierarquia possui uma divisão

inicial, que divide o empreendimento em cada uma das áreas comuns e em cada um dos módulos de casas (lotes de seis a sete unidades), e uma divisão mais detalhada, que decompõe cada um dos módulos de casas em unidades habitacionais. Na sequência foram propostas duas subdivisões. A primeira é uma divisão vertical, que decompõem andares cada uma das casas e o salão de festas, e a segunda foi a divisão horizontal, que diz respeito à compartimentação das zonas de trabalho. Estas divisões foram feitas com o intuito de possibilitar alternativas à alocação da produção nas zonas de trabalho. Nesta estrutura não foi adotado mais de um sistema de localização, conforme apontado no item 2.3.1, pois apenas uma hierarquia de zonas de trabalho atendia às necessidades da produção identificadas. Ainda, pela flexibilidade do *software* em permitir realizar subdivisões das zonas definidas, pode-se definir diferentes lotes de produção para atender às demandas futuramente identificadas.

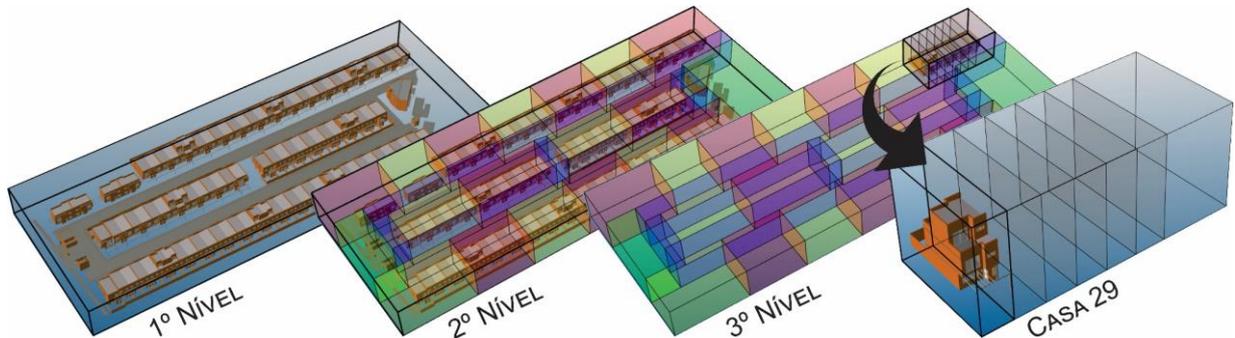
Figura 42 – Estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E1



(Fonte: elaborado pelo autor)

Neste trabalho, para definir a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho no *software* foram adotados os seguintes passos: (a) dividir sucessivamente as zonas de trabalho (horizontalmente e verticalmente); (b) nomear as zonas de trabalho de acordo com o plano de ataque; (c) verificar se os elementos do modelo BIM estão dentro da zona de trabalho correta; e (d) ao modificar a estrutura hierárquica de zonas de trabalho, atualizar os quantitativos nas zonas de trabalho. O resultado da definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho é visualizado diretamente no modelo BIM (Figura 43).

Figura 43 – Visualização dos diferentes níveis da estrutura hierárquica do Empreendimento E1 diretamente no modelo BIM



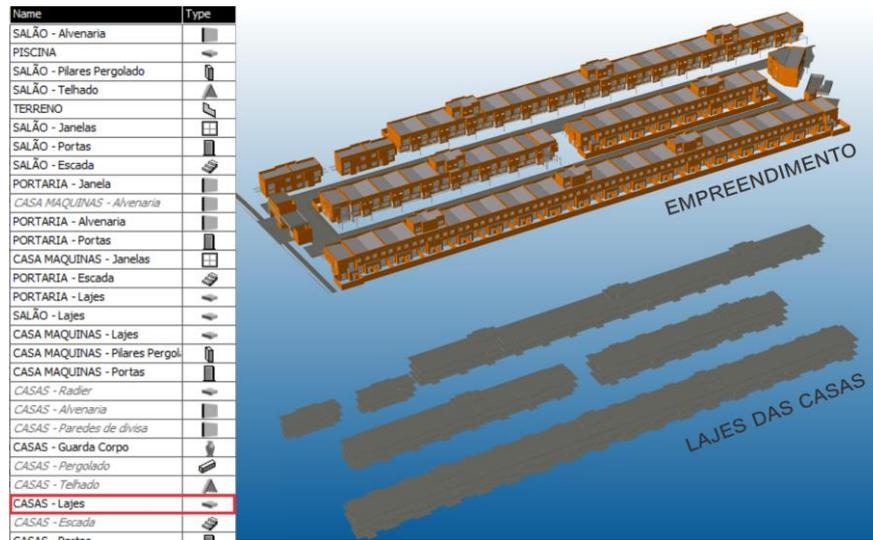
(Fonte: elaborado pelo autor)

5.2.3.3 Etapas fundamentais associadas ao desenvolvimento do modelo 4D

Nesta etapa, os elementos do modelo BIM foram extraídos, organizados e agrupados em itens a fim de atender as necessidades de vinculação destes à estrutura de custos e ao planejamento. Esta etapa, denominada neste trabalho de categorização dos elementos do modelo em itens, permitiu organizar os itens segundo as informações contidas nos elementos, como a sua tipologia, material e *layer*. Estas informações permitiram reduzir substancialmente o trabalho de categorização dos elementos quando comparado ao estudo exploratório. Logo, a modelagem afetou positivamente esta etapa, realizada no Vico Office, que permite de forma flexível reorganizar e reatribuir elementos a grupos distintos. Neste estudo optou-se por agrupar os elementos segundo as suas tipologias e as zonas de trabalho (casas, portaria, salão, pavimentação, quadra, etc.), a fim de facilitar a futura vinculação destes com os componentes de custo. Estes itens podem ser visualizados em uma lista na Figura 44, a qual também apresenta uma visão geral do empreendimento e um filtro aplicado para somente visualizar as lajes das casas.

Na sequência, o pesquisador realizou uma análise da estrutura de custos e do plano de longo prazo existente da empresa e percebeu-se que o nível de detalhes entre ambas era incompatível ao tentar relacionar os elementos de uma com a outra. Ambas as estruturas precisariam estar com um nível de detalhe compatível a fim de serem vinculadas uma a outra. Logo, em conjunto com os consultores optou-se por definir a estrutura de custo igual a estrutura do planejamento de longo prazo, representada pela linha de balanço do Empreendimento E1, visto que a estrutura de custos não seria o foco deste trabalho. Então, os parâmetros dos itens (área, volume, etc.) foram associados aos componentes de custo, da mesma forma como foi feito no estudo exploratório, compondo assim os quantitativos destes.

Figura 44 – Organização elementos do modelo BIM em itens, exemplificado com o item das lajes das casas

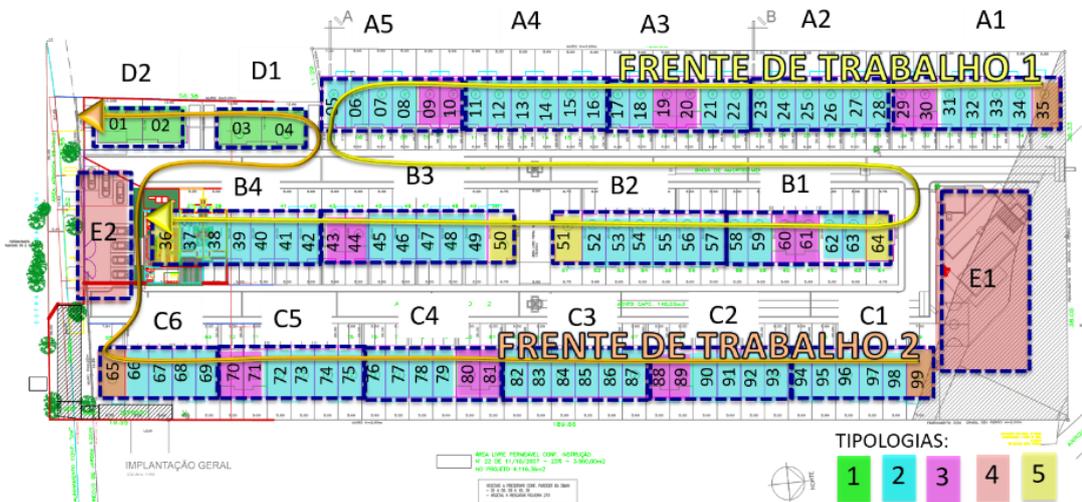


(Fonte: elaborado pelo autor)

5.2.3.4 Elaboração do plano

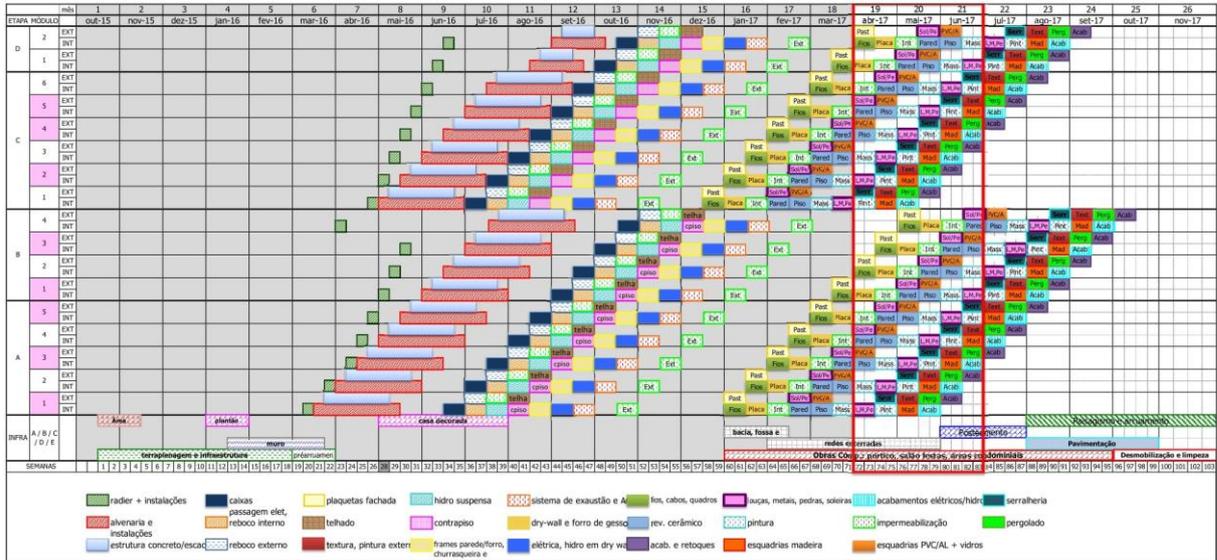
Antes de iniciar este estudo, a empresa de consultoria havia feito três diferentes simulações, ainda na etapa de PSP, para comparar diferentes planos de ataque. Cada uma dessas simulações gerou uma respectiva linha de balanço e um histograma de mão de obra. Com essas informações, os consultores, em conjunto com os gestores da Empresa A, definiram que o empreendimento seria executado em duas frentes de trabalho (Figura 45), o que pode ser observado na linha de balanço que representava o plano de longo prazo do Empreendimento E1 (Figura 46). A frente de trabalho 1 executaria os lotes de casas A e B, e a frente de trabalho 2 os lotes C e D. Os lotes E1, E2 e os acessos foram executados paralelamente aos lotes de casas.

Figura 45 – Implantação do empreendimento, divisão dos lotes e diferentes frentes de trabalho



(Fonte: adaptado de Empresa A)

Figura 46 – Linha de balanço referente ao plano de longo prazo do Empreendimento E1

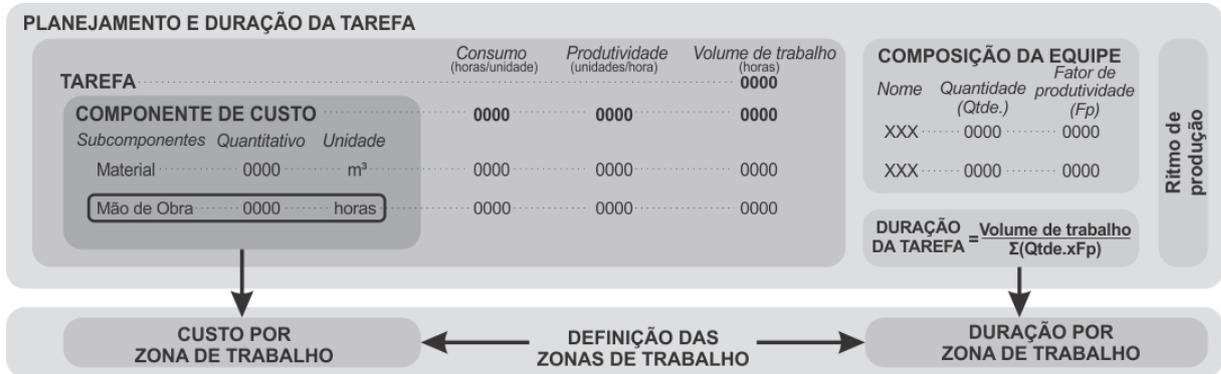


(Fonte: Empresa A)

Com base nestas definições apresentadas, foi dado andamento a elaboração do plano dentro do software Vico Office. Foram inseridas as tarefas segundo a linha de balanço, e foram vinculados os componentes da estrutura de custo a cada uma dessas tarefas. O fluxo de informações presente na Figura 47 esquematiza e exemplifica os vínculos entre os componentes de custos e as tarefas. Neste exemplo em que a mão de obra é contratada por hora, o volume de trabalho poderia ser determinado de três diferentes formas. A primeira forma seria a partir do componente de custo, que pode estar ou não em função dos seus subcomponentes. A segunda forma seria definir o volume de trabalho em função do subcomponente material, sendo necessário definir o consumo (horas/unidade de medida). E a terceira forma seria definir o volume de trabalho igual a quantidade de horas de mão de obra definidas no subcomponente de mão de obra, sendo necessário neste caso definir o consumo igual a 1.

Ademais, a decisão de definir a composição da equipe fica a critério do planejador, visto que geralmente tais informações são inseridas em atividades mais críticas. Esta definição é realizada a partir da inserção da quantidade de operários e seus respectivos fatores de produtividade. Assim, o ritmo de produção é uma consequência das informações inseridas. A partir do entendimento destes vínculos, foi possível definir tais parâmetros de consumo e produtividade para obter o volume de trabalho, que permitiu consequentemente obter a duração das tarefas. A partir da definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, realizada anteriormente, as informações referentes aos custos, ao volume de trabalho e a duração das tarefas foram subdivididos, permitindo visualizar estes dados decompostos por zona de trabalho.

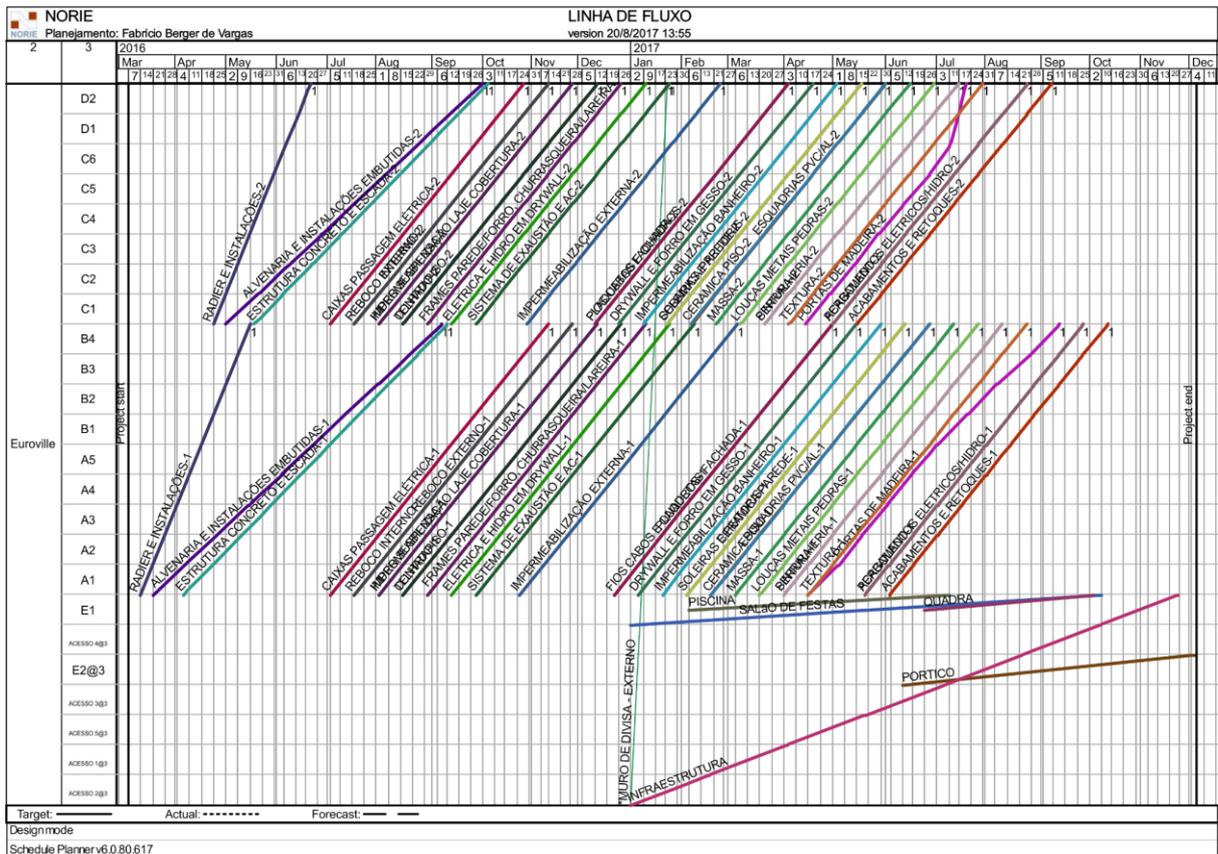
Figura 47 – Vínculos entre componentes de custo e a duração das tarefas



(Fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, para que fosse possível obter a linha de fluxo do empreendimento (Figura 48), foi necessário definir uma sequência de execução padrão das zonas de trabalho, dispostas no eixo vertical, que pode ser modificada para atender as necessidades de tarefas específicas. Além disso, cada uma das tarefas foi vinculada a um nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, o que permitiu definir o tamanho do lote de produção das atividades. Também foram criados os links lógicos entre as tarefas, que é uma das partes mais complexas do processo de elaboração do plano. Esta lógica permite definir as precedências das atividades, os lotes de transferência, forçar o fluxo ininterrupto dos recursos ou então quebrar a continuidade da tarefa, dividir uma tarefa em mais de uma frente de trabalho, fazer com que a atividade aconteça o quanto antes, e inserir outras decisões de planejamento relevantes. A linha de fluxo é gerada como um reflexo destas informações inseridas e contribuiu para que erros de vinculação fossem facilmente percebidos e eliminados. Na Figura 48, é possível verificar que grande parte do ritmo das tarefas planejadas estava sincronizado e dois grandes *buffers*, um inserido após a execução da estrutura de concreto, e outro após a realização da impermeabilização externa.

Figura 48 – Linha de fluxo do Empreendimento E1



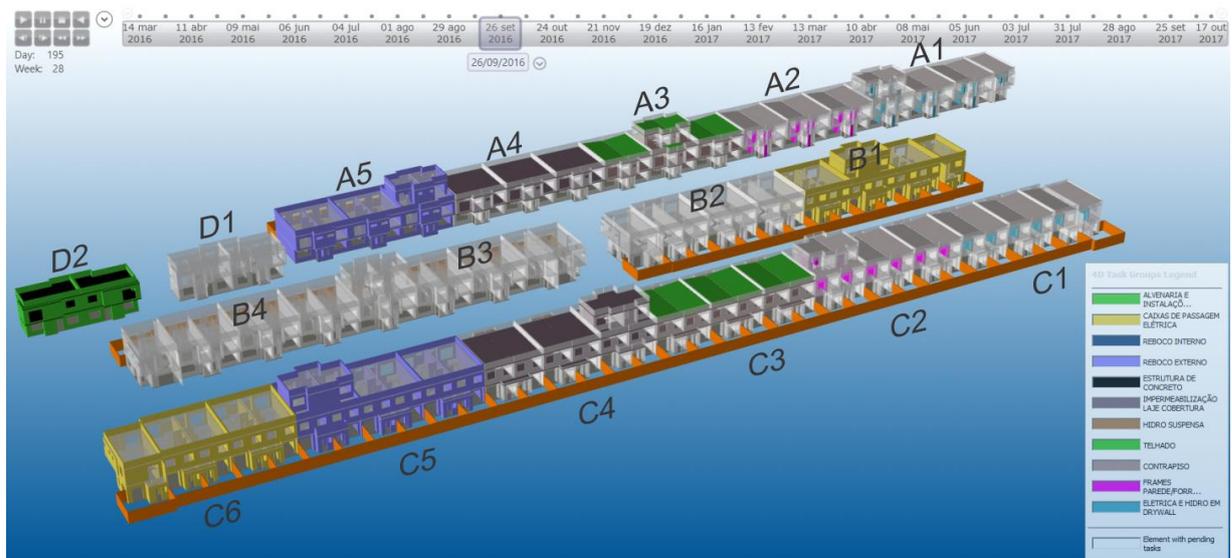
(Fonte: elaborado pelo autor)

5.2.3.5 Uso do modelo 4D

A simulação 4D da execução da obra foi uma consequência da alocação da estrutura de custo ao planejamento e de todas as definições até então realizadas. O principal benefício à Empresa A, aos consultores e ao pesquisador foi visualizar paralelamente o plano representado no modelo BIM e na linha de fluxo, o que permitiu mais facilmente compreender o fluxo de trabalho, o plano de ataque, os *buffers* e a sincronização das tarefas. Foram realizadas três simulações personalizadas, sendo a primeira apenas das casas, que pode ser observada na Figura 49, uma segunda contendo apenas das áreas comuns, e uma terceira de todo o empreendimento. Para visualizar o progresso das atividades internas na simulação 4D foram aplicadas uma transparência e uma seção. Além da simulação 4D em forma de vídeo, também foi possível extrair imagens, em que os elementos do modelo BIM eram destacados com cores definidas a fim de identificar que naquela data a atividade estaria acontecendo naquele local. Ao realizar uma discussão do modelo 4D, realizado ao final de uma reunião de médio prazo, identificou-se o potencial do uso deste modelo para as reuniões de médio e curto prazo. As imagens extraídas poderiam ser utilizadas como um dispositivo visual no canteiro de obras para representar as atividades a serem executadas na semana, e a manipulação do modelo 4D poderia servir para análises mais táticas no horizonte de médio prazo.

Na Figura 49 é possível evidenciar o fluxo de trabalho apresentado na Figura 45. É possível identificar que existem duas frentes de trabalho trabalhando concomitantemente, evidenciado pela coloração das fitas A e B (frente de trabalho 1), comparada com a fita C e D (frente de trabalho 2). Além disso, os tamanhos dos lotes de produção são evidenciados, visto que as 6 casas presentes no módulo possuem a mesma atividade acontecendo. Ainda, a simulação 4D permitiu verificar folgas de capacidade, como no módulo D1 da Figura 49.

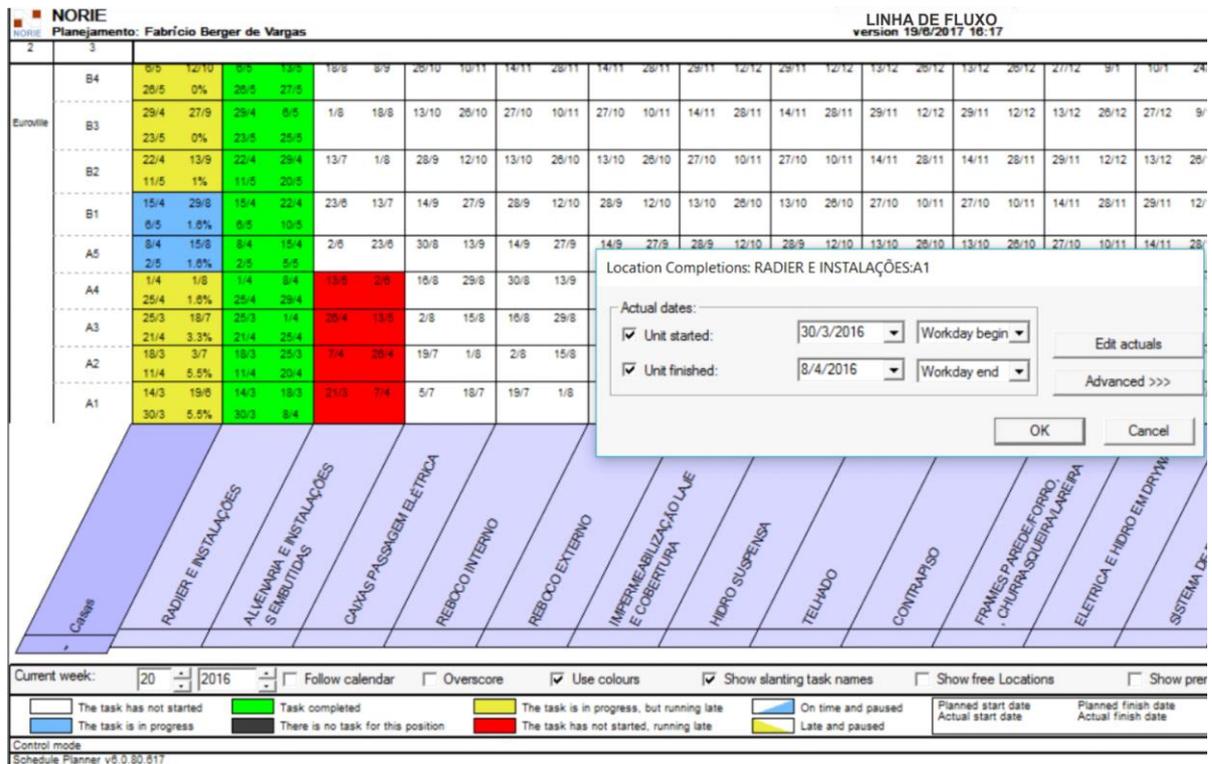
Figura 49 – Simulação 4D que mostra as atividades que estarão em andamento em determinada semana



(Fonte: elaborado pelo autor)

Devido ao esforço demandado pelas demais etapas do estudo, o controle da produção do empreendimento ficou de fora do seu escopo. Logo, a obra foi apenas monitorada, sendo utilizado um quadro de controle, resultante das informações de controle fornecidas ao *software*, a fim de identificar o seu potencial para controlar a produção de empreendimentos de construção (Figura 50). Em reunião com os consultores, foi identificado que esta ferramenta permitia facilmente obter informações do andamento da execução das atividades e visualizar informações a respeito do status das atividades. Para inserir o andamento das atividades foram inseridas as datas de início, término e/ou a fração do andamento da atividade em cada zona de trabalho. Com isso, por meio de cores, o quadro representava se a atividade ainda não começou e deveria ter começado (vermelho), se ela iniciou e não está atrasada (azul), se iniciou e está atrasada (amarelo) ou se ela foi finalizada (verde). Este dispositivo visual poderia ser utilizado para controlar a produção de forma complementar ao controle visual realizado por meio da ilustração das casas em corte apresentado anteriormente na Figura 35b.

Figura 50 – Ferramenta visual de controle da produção



(Fonte: elaborado pelo autor)

5.2.3.6 Mudanças específicas na Empresa A

Nesta seção são apresentadas algumas das mudanças específicas sugeridas e acompanhadas na Empresa A que estão relacionadas as implementações já mencionadas neste estudo.

O plano de curto prazo já possuía informações importantes para um sistema de planejamento baseado em zonas de trabalho (Figura 51a). A coluna intitulada de local, mostrava a zona de trabalho relacionada ao pacote de trabalho. Essas zonas eram definidas segundo uma letra, que representa a fita em que se encontra o lote (A, B ou C), e um número, que representa mais precisamente o módulo dentro da fita (1 a 6). Entretanto, para certas atividades, os lotes de produção eram menores do que os módulos de 6-7 casas estabelecidos. Isto gerava a necessidade de especificar onde o pacote de trabalho estava alocado junto da sua descrição, o que gerava acúmulo de muita informação. Logo, com base na estrutura hierárquica de zonas de trabalho, definida na Figura 42, o pesquisador sugeriu aos consultores trabalhar com dois níveis diferentes de zonas de trabalho na planilha de curto prazo. Em termos práticos, foi decidido acrescentar uma coluna ao lado da coluna local, denominada 'unidade/casa', que permitiu especificar em qual casa o pacote de trabalho deveria ser executado (Figura 51b). No caso de o tamanho do lote de produção ser igual ao módulo e não a casa, esta coluna foi deixada em branco. Além de retirar esta informação da descrição do pacote de trabalho, o acréscimo dessa coluna permitiu filtrar as zonas de trabalho, a fim de verificar todas as atividades que seriam executadas naquela zona (casa) na semana

em referência, analisar possíveis interferências entre equipes e/ou a ociosidade de zonas de trabalho (zona sem pacotes de trabalho associado).

Figura 51 – (a) Planilha de curto prazo inicial e (b) planilha de curto prazo alterada com hierarquia de zonas de trabalho

Empresa A				Obra	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	Semana	30	Início Obra:								
				Produção	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	16/05/16	à	22/05/16	19/10/15							
				Instalações	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx											
				Produção	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx			Data:								
				Responsável:	Empresa consultoria	PPC = Soma 100% total itens =		16/05/16								
Nº	Empresa	Nome/Função	Local	Pacote de Trabalho	Início	Fim	Seg	Ter	Qua	Qui	Sab	Dom	Executado %	Causa do Não Cumprimento		
1	XXX	XXX	Radier C5	Execução Estacas	17/05/16	18/05/16							100 %			
2	XXX	XXX	Radier E3	Execução Estacas	19/05/16	20/05/16							100 %			
3	XXX	XXX	A1/A2	Escoramento laje do 2o pavto casas 30/29/28/27/26/25/24/23	16/05/16	20/05/16							100 %			
4	XXX	XXX	A1/A2	Montagem da laje piso do 2o pavto casas 30/29/28/27/26/25/24/23	17/05/16	17/05/16							100 %	(a)		
5	XXX	XXX	A1/A2	Forma e armadura do 2o pavto casa 30/29/28/27/26/25/24/23	16/05/16	20/05/16							100 %	(a)		
Nº	Empresa	Nome/Função	Local/ Módulo	Unidade/ Casa	Pacote de Trabalho	Início	Fim	Seg	Ter	Qua	Qui	Sab	Dom	Executado %	Causa do Não Cumprimento	DESCRIÇÃO DA CAUSA
1	XXX	XXX	D1	1	Marcação de estacas	10/04/2017	13/04/2017							100 %		
2	XXX	XXX	A3	19	Preparação para instalar soleiras 3o pavto	10/04/2017	13/04/2017							100 %		
3	XXX	XXX	A3	20	Preparação para instalar soleiras 3o pavto	10/04/2017	13/04/2017							100 %		
4	XXX	XXX	A5	9	Preparação para instalar soleiras 3o pavto	10/04/2017	13/04/2017							100 %		
5	XXX	XXX	A5	10	Preparação para instalar soleiras 3o pavto	10/04/2017	13/04/2017							100 %		(b)

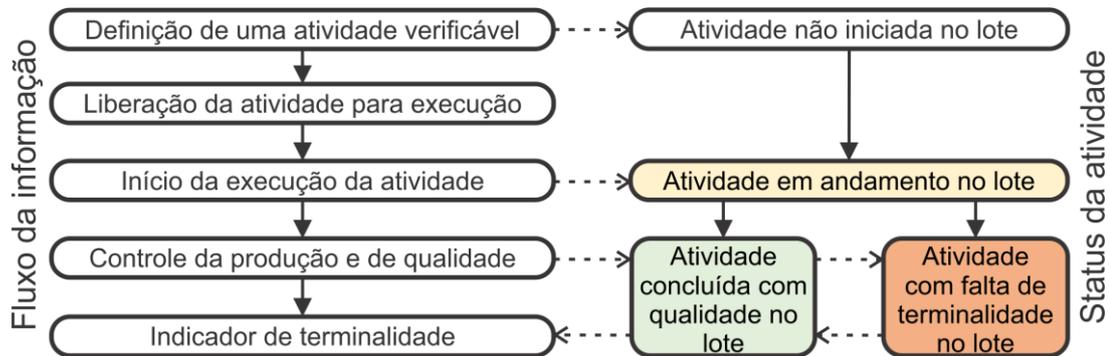
(Fonte: adaptado de empresa consultora)

Além disso, antes das reuniões de curto prazo acontecerem, os funcionários da Empresa A responsáveis por fiscalizar a execução dos serviços, deveriam preencher a planilha de planejamento de curto prazo (Figura 51), com o cumprimento ou não dos pacotes e as causas da não conclusão dos mesmos, para assim gerar o PPC da semana. Entretanto, em um primeiro momento estas planilhas não estavam sendo entregues antes das reuniões, o que não permitia que nas reuniões o foco fosse dado às discussões de assuntos pertinentes, como causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho e reprogramação das atividades para a semana seguinte. Com isso, foi explicado aos participantes das reuniões a importância de tais informações, o que fez com que os mesmos comessem a cumprir com esta responsabilidade. Com este ponto resolvido, foi definido em reunião, que os representantes das empresas subempreiteiras, em conjunto com os fiscais da Empresa A, deveriam trazer para a reunião de curto prazo um pré-plano para a semana seguinte, que seria discutido e definido de forma colaborativa. Neste ponto, o pesquisador identificou a oportunidade de utilizar o modelo 4D na tentativa de aumentar o entendimento dos fluxos da construção, bem como entender de forma visual o escopo do plano da semana e incentivar a colaboração entre os participantes, que muitas vezes era restrita. Entretanto, o desenvolvimento do modelo 4D demandou de um grande esforço e tempo, e conseqüentemente não foi possível utilizá-lo para as reuniões de curto prazo.

Em relação aos problemas identificados de falta de terminalidade no item 5.2.2, evidenciados durante as reuniões de curto prazo e visitas ao canteiro de obras, foi sugerido à empresa de consultoria incluir ao

sistema de indicadores da Empresa A um indicador que quantificasse a ocorrência da falta de terminalidade nas zonas de trabalho e as suas causas, a fim de buscar solucionar tais problemas. Com a contribuição dos consultores, foi possível definir que o indicador para terminalidade seria sustentado pelas informações advindas do plano de curto prazo, entretanto as atividades não seriam controladas ao nível de pacote de trabalho, e sim em um nível superior a este, representado pelas tarefas dispostas na linha de balanço. Com isso, o pesquisador definiu o fluxo da informação que gera tal indicador e a relação deste fluxo com o status das atividades, apresentados na Figura 52. A partir de uma atividade verificável é realizada a liberação da atividade para a execução. Entretanto, somente quando a atividade inicia a ser executada o status dela passa de não iniciada para em andamento no lote. Então, ao longo dos ciclos de controle da produção é acompanhada a execução da atividade, e no momento em que ela é finalizada com qualidade, o lote é liberado e a atividade é dada como concluída com terminalidade, e caso por algum motivo a atividade apresente falta de terminalidade, a atividade e o lote recebem o status de que possuem falta de terminalidade. Conseqüentemente, o indicador de terminalidade é gerado com base nos status das atividades.

Figura 52 – Fluxo das informações que geram o indicador de terminalidade e as relações com o status da atividade



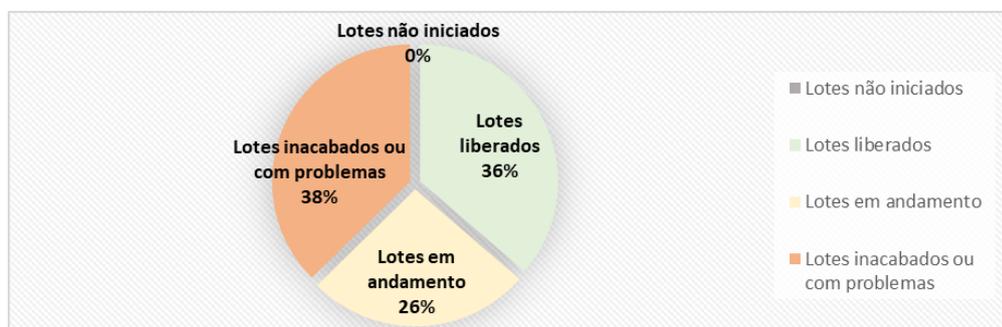
(Fonte: elaborado pelo autor)

Em seguida, o pesquisador definiu o indicador de terminalidade pela fórmula apresentada na Equação (5.1), o qual é expresso por meio de uma percentagem, a qual 100% representa o valor de referência para que nenhuma atividade possua problema de falta terminalidade. Então, o indicador é dado pela diferença entre este valor de referência, menos a relação entre o total de atividades com falta de terminalidade e o total de atividades em andamento (o número total de atividades menos as atividades não iniciadas) vezes cem para obter o valor em percentagem. É importante ressaltar que uma atividade sempre é alocada em um lote de trabalho, então a terminalidade ou a falta dela é sempre representada por uma atividade em uma zona de trabalho.

$$\text{Indicador de terminalidade (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{atividades com falta de terminalidade}}{\text{atividades em andamento}} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

Para realizar a coleta de dados foi desenvolvida uma planilha, na qual as atividades a serem controladas foram dispostas nas colunas e as unidades de controle adotadas nas linhas (casas e os módulos de casas). Em cada uma das células foram inseridas letras e cores, que traziam informações referentes ao status da atividade no lote (A – atividade em andamento e L – lote liberado). Na situação da atividade em um lote apresentar falta de terminalidade, a célula da planilha foi preenchida com a letra C e um número, o que era relacionado à causa da falta de terminalidade. Então, a partir desta planilha foram gerados dois indicadores com grau de agregação distintos. Um permitia verificar a terminalidade do empreendimento como um todo, e o outro, menos agregado permitia verificar a terminalidade de uma tarefa específica. Ainda, a partir dos dados coletados foram gerados dois gráficos. Um primeiro, que apresenta o status das atividades nos lotes, representado na Figura 53, e um segundo com o percentual das causas da falta de terminalidade, que permitiria verificar quais as causas da falta de terminalidade mais recorrentes nas zonas de trabalho. Este gráfico foi resultado da coleta de dados da falta de terminalidade em todas as casas, realizada próximo deste estudo ser finalizado. Foi obtido que 62% das 99 casas apresentavam terminalidade, sendo que 38 casas apresentavam algum problema de falta de terminalidade. Este dado representa uma “foto” do andamento da obra, não mostrando a falta de terminalidade das atividades ao longo do tempo.

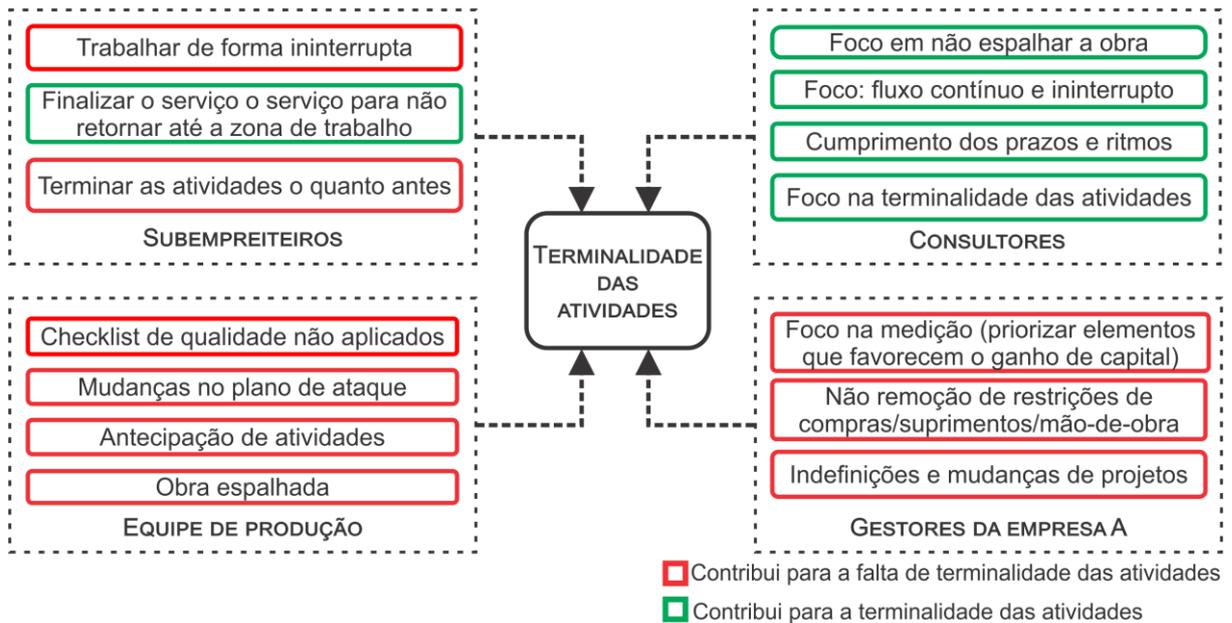
Figura 53 – Gráfico do status dos lotes



(Fonte: elaborado pelo autor)

Como não foi possível obter dados quantitativos mais representativos a respeito das causas da falta de terminalidade, foi realizada uma análise qualitativa geral, com base nas planilhas de curto prazo e nas observações participantes nas reuniões, foi proposto um mapa das partes interessadas (Figura 54), que permitiu sistematizar como os interesses, e o foco das decisões de cada um dos intervenientes estava contribuindo ou não com a terminalidade das atividades.

Figura 54 – Mapa das partes interessadas – interesses de cada um dos intervenientes



(Fonte: elaborado pelo autor)

Tendo em vista que os subempreiteiros tinham os pagamentos liberados de acordo com a sua produção, eles buscavam finalizar a atividade o quanto antes e buscavam um fluxo ininterrupto, o que não contribuía para a terminalidade em grande parte dos casos, visto que o importante era produzir ao máximo, o que em alguns casos gerava falta de qualidade, retrabalho e falta de terminalidade. Entretanto, havia também uma preocupação de alguns subempreiteiros em finalizar o serviço para que não precisassem voltar à zona de trabalho para finalizar o serviço, contribuindo assim para a terminalidade. Em relação a equipe de produção, a falta de aplicação de *checklists* de qualidade, as mudanças no plano de ataque, que deixava partes do trabalho sem conclusão, a antecipação de atividades e o espalhamento da obra pelo canteiro contribuía para o aumento da falta de terminalidade. Os gestores da Empresa A, tinham o foco na medição, priorizando elementos que favoreciam o ganho de capital, o que influenciava diretamente nas mudanças no plano de ataque realizadas pela equipe de produção, e não contribuía para a terminalidade das atividades. Além disso, as indefinições, mudanças de projetos, não remoção de restrições relacionadas à compras, suprimentos e mão-de-obra colaboravam para o aumento da falta de terminalidade. Por fim, como o papel dos consultores era buscar soluções aos problemas identificados, o foco dado por eles contribuía para o aumento da terminalidade das atividades. Nesse caso, eles buscavam não espalhar a obra, uma produção equilibrada com fluxo contínuo e ininterrupto, com o foco em dar terminalidade às tarefas, e buscavam cumprir com os prazos e ritmos.

A fim de reduzir problemas de falta de terminalidade das tarefas, melhorar a qualidade da execução e evitar que as equipes subsequentes deixassem de trabalhar por problemas de atividades anteriores, a Empresa A optou por liberar a medição apenas se os *checklists* de qualidade estivessem preenchidos e

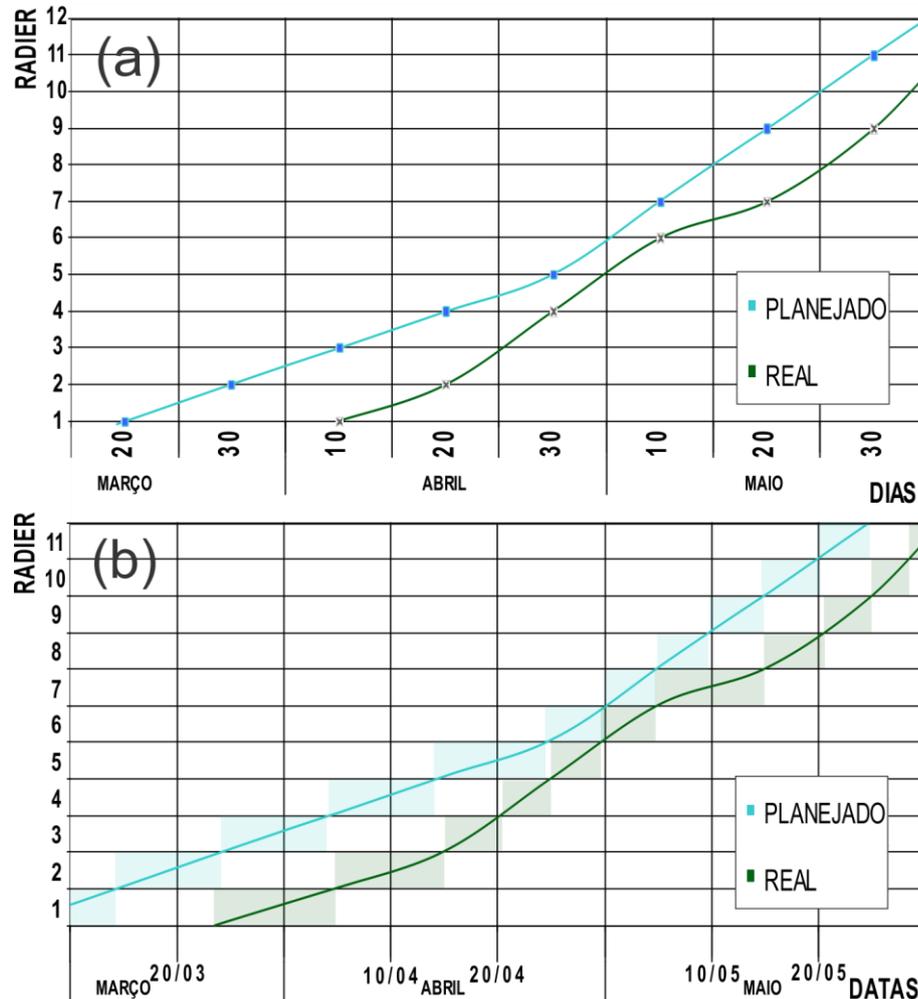
conformes. A falta de aplicação dos *checklist* estava relacionada diretamente à falta de terminalidade das atividades e do trabalho em progresso, problema esse levantado na análise feita.

Com base nos dados dos planos de curto prazo dos meses de novembro e dezembro de 2016, das 294 causas de não cumprimento dos planos identificadas, 38 estão relacionadas aos materiais, principalmente no que diz respeito a programação de materiais. Isto representa aproximadamente 13% e foi evidenciado pela dificuldade que a Empresa A estava tendo em lidar com a programação de materiais. Logo, durante um período de execução da obra e de forma complementar às reuniões de curto prazo, foram realizadas reuniões semanais para gestão de suprimentos. Essas reuniões serviram para programar os recursos consumíveis da obra (recursos classe 3), o que acabou refletindo positivamente e sanou grande partes dos problemas relacionados a esta causa.

Em relação as reuniões de médio prazo, foi possível identificar restrições referentes aos projetos complementares, mais especificamente indefinições dos projetos de sistema de drenagem e esgoto e de outros projetos complementares que apresentavam omissões. Esta identificação foi resultado das informações requeridas pelo processo de modelagem BIM, que de forma tridimensional permitiu evidenciar tais problemas e gerar a necessidade de melhor detalhar e desenvolver os projetos a fim de permitir que os serviços fossem executados. Ao analisar este cenário, notou-se que as indefinições de projeto identificadas estão diretamente relacionadas ao problema de centralização da decisão levantado no item 5.2.2 e a baixa quantidade de informação contida nos projetos.

O gráfico de desvio de ritmo, utilizado para controlar o ritmo de entrega dos serviços das unidades, apontava a diferença entre o ritmo real e o planejado, permitindo que medidas corretivas fossem realizadas (Figura 55a). Em reunião com os consultores, foi sugerido que, ao invés de controlar o ritmo de entrega (conclusão das unidades), se controlasse o ritmo de produção, por meio do monitoramento das datas de início e término, o que permitiria controlar o trabalho em progresso, interrupção do fluxo de trabalho, variabilidade no tempo de ciclo em cada zona de trabalho e aderência ao lote planejado, apontados por Bulhões (2009) como indicadores diretamente relacionados à mentalidade enxuta e que contribuem na etapa de controle. Logo, este gráfico sugerido, pode ser observado na Figura 55b.

Figura 55 – (a) Parte do gráfico de desvio de ritmo da execução do radier com 17 lotes de produção e (b) proposição de um novo gráfico



(Fonte: adaptado da Empresa A)

5.2.4 Contribuições do estudo e reflexão sobre as lições aprendidas

O mapeamento do processo de PCP adotado pela Empresa A, apresentado na etapa de diagnóstico inicial, serviu para que os intervenientes pudessem ter conhecimento amplo deste processo e foi apontado na apresentação final do estudo à empresa, como um ponto de partida para padronizar o processo de PCP existente. A empresa de consultoria, apesar de ter pleno entendimento e conhecimento do processo, não havia mapeado e apresentado este processo na forma de um fluxograma. Além disso, este mapeamento serviu como ponto de partida para o desenvolvimento deste estudo, visto que o processo de PCP existente já estava bem estruturado e contribuía para o fluxo de desenvolvimento do modelo 4D. Consequentemente, este mapeamento também contribuiu para a proposição do método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM, resultado deste trabalho.

Na etapa de implementação, a captação das necessidades dos usuários do modelo fez com que o modelo BIM fosse desenvolvido em LOD 200 e 300, e com informações relevantes e suficientes ao uso

determinado. Isto foi evidenciado na etapa de monitoramento e a partir das simulações 4D, em que puderam ser visualizados os detalhes importantes às equipes, como o fluxo de trabalho, onde o trabalho estava alocado e *buffers*. Logo, esta captação inicial das necessidades contribuiu para reduzir um detalhamento do modelo BIM desnecessário. Além disso, a identificação das necessidades advindas dos *software* utilizados, fez com que o pesquisador tivesse atenção ao desenvolver os elementos do modelo, os quais foram organizados em diferentes tipologias, *layers* e materiais, o que impactou positivamente na categorização dos itens, reduzindo o tempo dispendido para realocar e reagrupar os elementos para vincular aos componentes de custo e às tarefas.

A versão do *software* adotada neste estudo foi concebida de forma que o controle de custos fosse realizado de forma integrada ao controle da produção, no qual cada tarefa precisa ter componentes de custo relacionados, não sendo possível que um elemento de custo pertença a mais de uma tarefa. Isto foi verificado na etapa de implementação, em que foi identificada a incompatibilidade entre a o grau de agregação dos componentes de custos e das tarefas do plano, ambos inseridos no *software*. Com isso, ficou evidente a necessidade de colaboração entre as equipes que desenvolvem o orçamento, o planejamento e a modelagem, a fim de que o orçamento possua um detalhamento maior ou igual ao plano, e a fim de que o nível de agregação do orçamento atenda ao plano. Além disso, foi necessário que ambos fossem atendidos pelo modelo BIM desenvolvido no quesito de elementos modelados e nível de desenvolvimento.

A modelagem progressiva do modelo permitiu que os projetos fossem sendo gradualmente detalhados na medida em que a informação fosse necessária. Tendo em vista a decisão inicial de focar o estudo primeiramente nas áreas comuns do empreendimento, visto que as tarefas relacionadas à estas áreas estavam por iniciar, foi gerada a necessidade de detalhar o modelo BIM neste âmbito. Entretanto, foi identificado em uma reunião de médio prazo, por meio do modelo BIM, incompatibilidade de projeto e falta de detalhamento do sistema de drenagem e esgoto, o que gerou restrições de projeto, e disparou a necessidade de detalhamento do mesmo. Este mecanismo, caracteriza um detalhamento de projeto “puxado”, ou seja, a execução do serviço gerou a necessidade de detalhar o modelo BIM, e o modelo BIM gerou a necessidade de detalhar o projeto. Entretanto, salienta-se que grande parte dos projetos foram desenvolvidos de forma empurrada, a fim de que as informações estivessem disponíveis quando necessárias.

Da mesma forma que foi observado no estudo exploratório, notou-se neste estudo a necessidade de definir a estrutura hierárquica de zonas de trabalho em estágios iniciais de planejamento da produção. Neste estudo foi definida a estrutura hierárquica de zonas de trabalho de forma visual com o apoio do

modelo BIM, o que permitiu de forma espacial definir as zonas de trabalho. Estas definições tiveram como referência a considerável repetitividade apresentada pelo Empreendimento E1 e os lotes de produção e transferência, que já haviam sido definidos pela Empresa A e pelos consultores. Mesmo assim, o pesquisador analisou e definiu diferentes alternativas de subdivisões de produção, para que as diferentes atividades pudessem ser alocadas nos lotes de produção definidos. Logo, foi possível perceber que mais importante do que definir a estrutura hierárquica em estágios iniciais de planejamento, é analisar mais de uma alternativa para a estrutura hierárquica, escolher a melhor solução, e guardar as demais como alternativas à tomada de decisão em etapas mais avançadas da obra. Assim, pode-se flexibilizar os tamanhos de lotes de produção e transferência, bem como alocar as atividades em diferentes níveis da estrutura hierárquica de zonas de trabalho. Neste empreendimento buscou-se que apenas uma equipe trabalhasse em uma casa, evidenciado pela simulação 4D, que permitiu visualizar o fluxo das diferentes especialidades, que tinha referência a cada uma das equipes.

As simulações 4D permitiram principalmente visualizar e compreender o plano de ataque da obra e as folgas presentes no cronograma. As informações extraídas do modelo 4D, em especial as imagens extraídas do modelo do empreendimento contendo as atividades destacadas por cores, foram identificadas com um grande potencial para serem utilizadas em um dispositivo visual, utilizado para dissipar a informação de forma mais clara e permitir maior compreensão do plano. Ao apresentar o modelo 4D à Empresa A e aos consultores, foi notável o aumento da discussão entre eles a respeito dos assuntos tratados em reunião. Neste ponto, foi identificado que a utilização de modelos 4D poderia aumentar a compreensão e o acesso à informação dos intervenientes que tivessem acesso ao modelo, o que contribuiria para descentralizar a tomada de decisão, problema esse identificado na etapa de diagnóstico da Empresa A.

Este modelo 4D, quando associado a linha de fluxo e ao quadro de controle visual, extraídos e apresentados na etapa de implementação do estudo, formatam uma solução robusta para identificar os aspectos relacionados ao fluxo de trabalho. Enquanto a linha de fluxo permitiu facilmente visualizar o ritmo das tarefas e as folgas presentes no plano, o modelo 4D permitiu visualizar a configuração espacial correspondente à data analisada e onde o trabalho estava alocado. Ainda, o quadro de controle permitiu, em forma de teste, visualizar o status da atividade monitorada por meio de cores, trazendo também evidências das datas de início e término planejadas e reais para a atividade em uma zona de trabalho. Neste ponto, controle da produção acabou ficando de fora do escopo deste trabalho, visto as dificuldades enfrentadas ao longo do estudo, relacionadas principalmente ao tempo demandado para desenvolvimento do modelo 4D, deixando assim para ser melhor explorado no estudo empírico 2.

Em relação ao sistema de indicadores, foi identificado o potencial que possuía o gráfico de desvio de ritmo de produção, o qual a partir das datas de início e término planejadas e reais permitiria monitorar o trabalho em progresso, o ritmo de produção planejado e real, a interrupção do fluxo de trabalho, a variabilidade no tempo de ciclo em cada zona de trabalho e a aderência ao lote planejado. Ao realizar uma análise, percebe-se que as informações necessárias para tais análises são inseridas e disponibilizadas no quadro de controle visual e na linha de fluxo, discutidos anteriormente. Logo, estes parâmetros, apontados por Bulhões (2009) como importantes ao controle da produção, podem ser adotados como forma de medir o desempenho do PCP baseado em zonas de trabalho e BIM.

Além disso, foi proposto acrescentar um indicador para controlar a terminalidade das atividades, que era um problema recorrente no canteiro de obras. O indicador proposto representou uma “foto” da situação da obra naquele momento, não permitindo verificar a terminalidade ao longo do tempo. A partir das discussões ao final do estudo, percebeu-se que provavelmente em diferentes fases da obra este indicador apresente valores distintos, visto que no início da obra não havia tanta sobreposição de atividades e intervenientes, e conseqüentemente uma menor chance de haver falta de terminalidade quando comparado as etapas mais avançadas.

Ao longo do estudo, foi sendo construído um fluxograma, que continha as etapas fundamentais envolvidas no processo de PCP baseado em zonas de trabalho e BIM (Apêndice B). Estas etapas, desconhecidas pela Empresa A antes deste estudo, foram as adotadas para a construção do modelo 4D do Empreendimento E1. Logo, os envolvidos no estudo conseguiram identificar de forma ampla as etapas envolvidas no desenvolvimento deste modelo. Estas etapas básicas, primeiramente identificadas no estudo exploratório, e também adotadas neste estudo foram: (a) desenvolvimento, importação e atualizações do modelo BIM, (b) definição da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, (c) extração e organização dos elementos do modelo em itens, (d) inserção da estrutura de custo, (e) definição do plano, e (f) simulação 4D.

Em relação às principais contribuições do modelo 4D com cada um dos níveis de planejamento adotados pela empresa, pôde-se observar que no nível estratégico foi possível visualizar o fluxo de trabalho, no nível tático permitiu identificar restrições relacionadas ao detalhamento de projetos e no nível operacional, apesar de não ser implementado identificou-se o potencial de uso para um dispositivo visual de dissipação da informação referente ao plano de curto prazo.

Por fim, as intervenções realizadas ao longo do estudo trouxeram algumas reflexões, relacionadas às três mudanças fundamentais gerada pela adoção de BIM, apontadas por Succar (2009). Ao longo deste

estudo, a adoção dos dois *software* gerou uma mudança tecnológica brusca, que foi absorvida pelo pesquisador, o qual teve de dedicar bastante esforço para desenvolver o modelo 4D. Nesse sentido, o estudo se prolongou em função da necessidade de aprendizagem relacionada ao uso destas ferramentas. Além disso, nem a Empresa A e nem seus parceiros tinham domínio sobre os *software* BIM e os processos relacionados. Logo, se a Empresa A optar por continuar a implementação de tais *software*, deverá dispender de treinamentos para qualificação dos funcionários. Um segundo ponto diz respeito às mudanças processuais. Foi notória a adição de etapas ao processo em decorrência da utilização de modelos 4D para gerar simulações da execução do empreendimento, as quais trouxeram consigo a necessidade de mudanças na forma com que os projetos eram concebidos, planejados e orçados. Esta quantidade de etapas é evidenciada no fluxograma das etapas envolvidas no PCP baseado em zonas de trabalho e BIM apresentadas no Apêndice B. Então, se a Empresa A optar por continuar o processo de implementação de tal sistema de PCP, acarretaria na necessidade de adaptação dos processos citados. O último ponto, e pouco explorado neste estudo, diz respeito a mudanças nas políticas da Empresa A. Mais especificamente, a continuação da implementação de BIM na Empresa A gera a necessidade de mudanças contratuais com os envolvidos, a criação de protocolos de entrega de informação e colaboração, além de ser necessário criar um plano de implementações e os resultados esperados em cada uma destas etapas.

5.3 ETAPA 2 – ESTUDO EMPÍRICO 2

5.3.1 Sistema de Planejamento e Controle da Produção existente na Empresa B

Diversos profissionais da Empresa B possuíam experiência com a construção de empreendimentos da tipologia do empreendimento estudado, incluindo o engenheiro civil responsável pela execução do Empreendimento E2. Além disso, o projeto do Empreendimento E2 se assemelhava a outro empreendimento da empresa, que estava em uma etapa avançada de execução.

A Empresa B havia implementado o Sistema *Last Planner* de forma parcial, em várias iniciativas de implementação de melhorias ao PCP com base nos princípios da construção enxuta. Em relação ao nível estratégico, as decisões eram tomadas de forma colaborativa, sendo que os principais envolvidos em tais decisões eram o gestor e dono da empresa, o engenheiro sênior, o qual possuía muita experiência com os tipos de empreendimentos executados pela empresa, e o arquiteto responsável pela gestão de projetos da empresa. O planejamento de longo prazo, apesar da similaridade entre diferentes obras da empresa, não possuía os seus processos padronizados nos seus diferentes empreendimentos. Ficava a critério de cada engenheiro responsável definir as ferramentas e como iria desenvolver tal plano. De uma

forma geral, o planejamento dos empreendimentos da empresa era desenvolvido diretamente no MS Project. Entretanto, após feito o plano, o engenheiro transcrevia tais atividades para uma linha de balanço, que era adotada como plano mestre. Os engenheiros da empresa identificaram o potencial desta técnica para visualizar o fluxo de trabalho e o ritmo de produção das tarefas dos seus empreendimentos, os quais possuíam uma considerável repetitividade. As análises dos planos gerados, como sincronia das tarefas, *buffers* de capacidade, sequenciamento das tarefas e outras questões pertinentes à definição do plano de longo prazo ficavam a critério do engenheiro responsável, o qual buscava atender ao cronograma de entrega das unidades e a medição do órgão financiador esperada.

No médio prazo, a maioria das decisões eram tomadas pelo engenheiro civil responsável pela execução do empreendimento. Apesar da empresa ter implementado o planejamento de médio prazo anteriormente, este não foi consolidado. Segundo os engenheiros da empresa, isto ocorreu por terem surgido outras demandas de trabalho e por considerarem que tais empreendimentos podiam ser executados sem tais planos. Apesar de não ser formalizado o plano de médio prazo, os setores de suprimentos e contratação realizavam análises de restrições de mão de obra e de materiais a partir do plano de longo prazo. Entretanto, não era realizada uma análise de restrições formal, não haviam reuniões periódicas destinadas a tal nível de planejamento, não eram definidos responsáveis por eliminar as restrições identificadas, e, conseqüentemente, não eram utilizados indicadores para medir o desempenho de tal nível de planejamento. Eventualmente, quando necessário, eram realizadas reuniões com empreiteiros ou fornecedores a fim de discutir as restrições identificadas pelos engenheiros.

Em relação ao nível operacional, as decisões estavam sob o comando do engenheiro responsável pela execução do empreendimento, sendo que o planejamento de curto prazo estava consolidado dentro da empresa. Este o plano era elaborado de forma padronizada por meio de um sistema informatizado. Entretanto, não eram realizadas reuniões semanais formais. Os engenheiros da Empresa B optaram por conversar individualmente nas sextas-feiras com os encarregados dos subempreiteiros, responsáveis pela execução dos pacotes de trabalho, a fim de designar os pacotes de trabalho para eles, os quais deveriam discutir a viabilidade de executar tais pacotes. O engenheiro responsável pelo planejamento deveria detalhar o plano de curto prazo diretamente no sistema da empresa, cadastrando os pacotes semanais de trabalho e associando estes às equipes responsáveis pela execução de tais pacotes. Este sistema simplificava o processo de controle, visto que o diário de obras era integrado a esta planilha de curto prazo, e era preenchido a partir dos dados de controle do andamento dos pacotes de trabalho. Isto reduzia a quantidade de planilhas e documentações a serem preenchidas, além de centralizar a informação no sistema.

Em relação aos indicadores de desempenho, a empresa adotava apenas o Percentual de Pacotes Concluídos (PPC). Este indicador era utilizado pela empresa a fim de medir o desempenho do planejamento de curto prazo, e era extraído de forma automática do sistema da empresa.

No que diz respeito a gestão visual, era utilizado um quadro, de fácil acesso a todos, a fim de divulgar boas práticas de execução, o PPC e indicadores de qualidade. Um dos indicadores de qualidade adotados era para avaliar os subempreiteiros segundo os parâmetros de qualidade do produto final, cumprimento do prazo e qualidade do processo (segurança e limpeza). Dependendo do intervalo da nota obtida em cada um destes parâmetros, era colocado uma figura representando um rosto satisfeito, indiferente ou insatisfeito, e uma média dos três, que gerava uma nota final (Figura 56). Esta avaliação era realizada segundo um *checklist*, e o feedback detalhado desta avaliação era dado pelos engenheiros aos subempreiteiros, caso eles recebessem uma nota final abaixo de sete. Nesta situação, uma reunião é marcada e tenta-se solucionar os problemas que geraram este desempenho ruim. Além destas, eram colocados o PPC e de outras informações relacionadas ao setor de qualidade da empresa. Entretanto, a grande quantidade de informações presente neste painel acabava comprometendo a transparência da informação.

Figura 56 – Painel de satisfação e comparação dos empreiteiros

EMPREITEIROS	Qualidade do Produto Final	Cumprimento do Prazo	Qualidade do Processo (Segurança e Limpeza)	MÉDIA NOTA FINAL
CV de Construção	8,3	8,8	7,5	7,92
ALCANTARA	8,3	6,7	7,7	
ALCANTARA	7,5	10	7,5	7,78
Paulista Formas	7,5	10	7,5	
ALCANTARA	7,5	3,8	7,0	6,81
ALCANTARA	6,7	5	6,5	6,39
ALCANTARA	6,7	5	6,5	
ALCANTARA	7,5	2,5	6,0	6,11

(Fonte: elaborado pelo autor)

Grande parte empreendimentos da Empresa B, incluindo o Empreendimento E2, eram financiados, e consequentemente a planilha de medição adotada pelo órgão financiador servia para os engenheiros realizarem o controle do avanço físico da obra. Esta planilha é composta pelos itens a serem executados e medidos, os quais podem ser desmembrados em lotes de medições distintos, conforme for acertado entre ambas as partes.

A gestão da qualidade na Empresa B era realizada segundo os procedimentos de execução definidos e por uma planilha de recebimento de serviços (ficha de verificação de serviços). Algumas tarefas mais críticas eram acompanhadas e inspecionadas durante a execução, o que permitia realizar medidas corretivas necessárias antes de sua finalização, e as demais eram verificadas apenas ao final. O documento que continha o procedimento de execução era parte do sistema de gestão da qualidade da empresa, possuindo informações a respeito do histórico de alterações do documento, quais os setores que deviam ter posse e utilizar o documento, os objetivos, equipamentos, ferramentas, materiais e documentos necessários para realizar a tarefa. Além disso, o documento possuía a descrição do que deveria ser feito, quais os pontos de maior atenção e o que deveria ser controlado. Estes aspectos ali dispostos podem contribuir para a padronização das operações, a qual colabora na busca por um tempo de ciclo mais estável e conseqüentemente na sincronização das tarefas. A Figura 57 apresenta um exemplo de documento, contendo um procedimento de execução da alvenaria de vedação e do muro de divisa. Nestes documentos são agregadas boas práticas de execução e quais os itens que devem ser verificados. Estes itens eram inseridos nas planilhas de recebimento dos serviços executados, a qual indica a zona de trabalho em que o serviço foi verificado (bloco, pavimento e unidade). As planilhas preenchidas eram armazenadas temporariamente em um mural de execução de obra, divididas por assuntos e dispostas dentro do container do setor de supervisão da obra, e depois elas eram arquivadas.

Figura 57 – Parte do documento de procedimento de execução

Nº	DESENVOLVIMENTO		
	ALVENARIA DE VEDAÇÃO OU MUROS DE DIVISA		
	O Que Deve Ser Feito	Atenção	O Que Controlar?
04	a) Marcação: Executar a marcação da parede através do assentamento de um bloco em cada extremidade, ajustando o nível do piso na 1ª fiada.	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar os esquadros, dimensões das peças e os vãos de portas e janelas. • Se for necessário deixar amarrações, em alguma parede, para facilitar o acesso dos materiais, estas deverão ser em formato castelo ou esçada. • Abastecimento de materiais: Abastecer o local com a quantidade de blocos necessários, de modo a não prejudicar a execução do serviço e o transporte de outros materiais e operários. 	<ul style="list-style-type: none"> • Marcação da 1ª fiada da alvenaria; • Conferir as dimensões dos vãos de portas e janelas; • Conferir o esquadro, prumo e alinhamento das paredes; • Conferir espessura das juntas; • Conferir colocação ou execução de vergas e contra-vergas.
	b) A argamassa deverá ser colocada nas masseiras.	<ul style="list-style-type: none"> • Nunca colocar a argamassa diretamente no piso. 	
	c) Assentamento dos blocos: Providenciar a marcação das fiadas, mantendo uma junta horizontal e vertical de aproximadamente 1,5cm. (+ / - 5mm).	<ul style="list-style-type: none"> • Nas paredes internas poderão ser eliminadas as juntas na vertical, exceto nas paredes externas. 	
	d) Executar as vergas e contra-vergas de concreto nos vãos de portas e janelas.	<ul style="list-style-type: none"> • Local limpo e organizado; 	

(Fonte: elaborado pelo autor)

Nesse sentido, os serviços deveriam apenas ser liberados se cumprissem com os itens da ficha de verificação. Entretanto, foi apontado pelos engenheiros que, com frequência, muitas atividades são dadas como concluídas, mas há falta de terminalidade, principalmente nas atividades de acabamento, sendo as atividades de pintura e instalações hidráulicas as mais críticas. Os engenheiros não mensuravam a incidência de tais problemas, nem dados que indicassem suas causas.

Além das medidas de qualidade adotadas, havia um *checklist* de boas práticas que se referiam à obra como um todo, trazendo parâmetros para avaliar, por exemplo, as questões relacionadas as instalações provisórias, como tapumes, acessos, local para refeições, vestiários, etc.

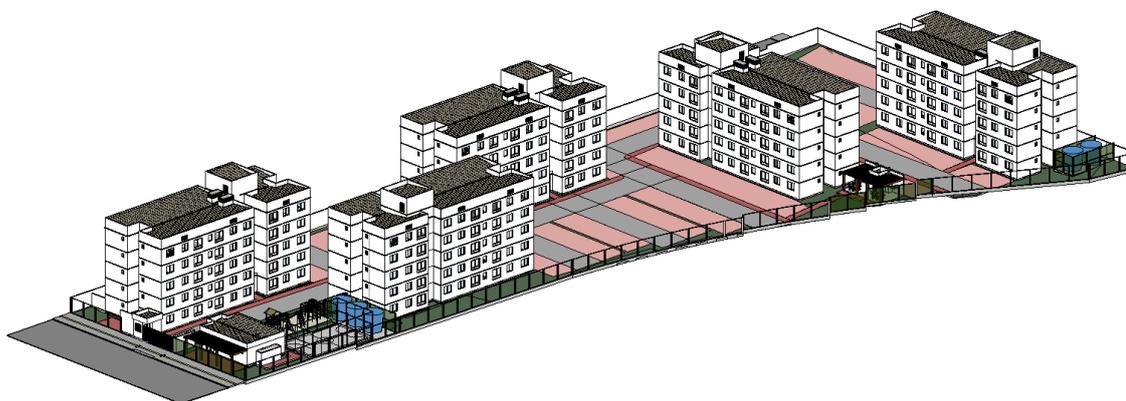
O almoxarifado possuía um sistema informatizado, que registrava os estoques de materiais, o nível de estoque mínimo necessário, e o nível em que o pedido de material deveria ser realizado. Além disso, em determinadas situações a empresa utilizava kits, como por exemplo os kits hidráulicos, a fim de entregar a quantidade necessária de material às equipes, reduzir desperdícios e fluxos dentro da obra. Estes kits eram definidos a partir de protótipos físicos e facilitavam definir os quantitativos de uma unidade habitacional, identificar problemas de projeto, e adotar soluções aos problemas não resolvidos em projeto. Estes protótipos físicos eram materializados por meio da execução antecipada de um dos apartamentos ou casas, que se repetiam ao longo do empreendimento. No Empreendimento E2, a empresa optou pela primeira vez utilizar um protótipo virtual, logo desenvolveu o projeto em BIM.

5.3.2 Fase de implementação

5.3.2.1 Análise, definições do uso e adaptação do modelo 3D

Conforme mencionado, este é o primeiro empreendimento da Empresa B desenvolvido em BIM. Nessa etapa do estudo, o modelo BIM do Empreendimento E2 já havia sido finalizado e foi disponibilizado para este estudo (Figura 58). A captura das necessidades dos usuários do modelo foi feita de forma superficial pelos arquitetos responsáveis pelo desenvolvimento do modelo. Isto está diretamente relacionado com a inexperiência da Empresa B com o assunto. Nesse sentido, o arquiteto responsável pela gestão de projetos da Empresa B definiu em conjunto com os arquitetos que iriam desenvolver o modelo, que, em um primeiro momento, seria desenvolvido somente o projeto arquitetônico com o intuito de gerar as pranchas para documentação dos projetos e alguns quantitativos, o que conseqüentemente gerou um projeto bem resolvido e detalhado comparado aos projetos anteriormente desenvolvidos. Não foi adotado um protocolo definindo os usos e necessidades específicas que o modelo BIM deveria atender. Apenas foram realizadas definições em conversas informais com a empresa que realizou a modelagem 3D.

Figura 58 – Modelo BIM do Empreendimento E2



(Fonte: elaborado pelo autor)

A comunicação e a troca de informações entre a empresa e o escritório que desenvolveu o modelo BIM foi realizada por meio de reuniões e e-mails. Apesar dos projetos serem modelados e desenvolvidos no Revit 2018, a Empresa B recebeu o projeto apenas no formato de pranchas 2D e imagens extraídas do modelo, devido ao fato deles ainda não terem conseguido adquirir o *software* e visualizar o modelo. Nesse sentido, o gestor de projetos mencionou que caso eles tivessem acessado o modelo enquanto ele era desenvolvido, alguns problemas de projeto, identificados posteriormente, poderiam ter sido evitados. Independente disto, o escritório que modelou pôde identificar alguns problemas de projeto com o uso do modelo, reportou-os à Empresa B e resolveu-os antes mesmo destes irem para a obra. O projeto executivo e os demais projetos complementares foram todos desenvolvidos em CAD, sobre as pranchas do projeto arquitetônico geradas a partir do modelo BIM. Logo, a compatibilização de projetos foi realizada manualmente em 2D, não sendo esta realizada de forma sistemática e nem automatizada.

No que diz respeito ao nível de desenvolvimento do modelo (LOD), os arquitetos não definiram formalmente qual o nível a ser adotado para os elementos para cada uma das etapas do projeto. Baseado na experiência do escritório de arquitetura e em modelos previamente desenvolvidos por eles, foi desenvolvida uma versão com as informações por eles identificadas como necessárias, sem entrar nestes quesitos de LOD. Logo, não foi definido formalmente qual o nível de desenvolvimento que o modelo deve possuir em determinada etapa do projeto.

A partir da análise do modelo BIM desenvolvido, feita pelo pesquisador, percebeu-se que os elementos do modelo foram desenvolvidos em um LOD que varia de 200 a 300. Além disso, foi definida apenas uma entrega do modelo e, consequentemente, não foi realizado um detalhamento gradual do mesmo. Entretanto, até que o modelo final ficasse pronto, existiu mais de uma versão, que, ao longo do processo de projeto, foram sendo revisadas. Na etapa de modelagem, havia apenas um responsável pelo modelo do empreendimento. Esse modelo foi dividido em cinco diferentes arquivos os quais foram integrados

por meio do arquivo de implantação, que contempla todo o empreendimento. No arquivo de implantação, as torres foram replicadas 5 vezes em cada um dos locais que seriam executadas.

Em relação a modelagem dos elementos, o piso foi modelado separadamente da laje e as paredes foram modeladas como elementos de tipologia composta, sendo que foram criadas famílias para cada uma das composições diferentes de paredes. Um exemplo de uma família de paredes compostas pode ser observado na Figura 59. A modelagem dos elementos de forma independente, como é o caso do piso, é um ponto positivo para a realização da simulação 4D, em um contraponto com as paredes, que modeladas como elementos compostos não permitem que se realize uma simulação das diferentes camadas de forma individual, visto que o *software* não reconhece estas.

Neste estudo, o pesquisador em conjunto com os intervenientes da Empresa B definiram que a finalidade do modelo era auxiliar nas decisões iniciais de planejamento, as quais poderiam ter o apoio de simulações 4D do empreendimento a fim de visualizar o plano e propor melhorias ao mesmo. Logo, identificou-se que os potenciais usuários do modelo 4D e das simulações a serem realizadas eram: o dono e o gestor de projetos da empresa, o engenheiro responsável pela execução do Empreendimento E2, o estagiário de engenharia civil da obra e os encarregados responsáveis pela supervisão dos serviços. Logo, decidiu-se realizadas adaptações no modelo para utilizá-lo para a finalidade definida.

Figura 59 – Exemplo de uma família de parede composta

Type:	PE - Bloco Cerâmico 14 - Textura-Reboco / Reboco-Pintura				
Total thickness:	0,1860	Sample Height:	6,0000		
Resistance (R):	0,0000 (m ² ·K)/W				
Thermal Mass:	0,00 kJ/K				
Layers					
EXTERIOR SIDE					
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material
2	Finish 1 [4]	Emboço	0,0290	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Core Boundary	Layers Above Wra	0,0000		
4	Structure [1]	Alvenaria - Bloco	0,1400	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Core Boundary	Layers Below Wrap	0,0000		
6	Finish 1 [4]	Emboço	0,0140	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Finish 1 [4]	Pintura Látex Acril	0,0015	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(Fonte: elaborado pelo autor)

A partir da análise do modelo 3D realizada, percebeu-se que o modelo, mesmo não sendo desenvolvido para tal finalidade, supria as necessidades deste estudo. Contudo, foram feitas algumas adaptações pontuais a fim de eliminar alguns elementos desnecessários ao estudo e corrigir algumas falhas de modelagem. Primeiramente, foram retiradas as famílias de mobiliário, visto que estas não serviriam ao estudo, depois foi identificada a atribuição imprecisa de alguns elementos a determinadas tipologias, como a modelagem de chaminés como pilares e das maçanetas como portas. Esta atribuição, quando

realizada de forma precisa, facilitava a categorização dos elementos do modelo em itens. Além disso, percebeu-se que algumas famílias foram modeladas de forma separada, como é o caso dos equipamentos hidrossanitários, que possuem cada um dos seus componentes em uma família independente. Esse ponto é justificado pela compra dos equipamentos que é realizada de forma individual. Entretanto, na simulação 4D não se pretendia chegar a um nível de detalhe que tal separação fosse necessária, mas isso não prejudicou o estudo. Ademais, foram identificados alguns elementos e alguns pontos do projeto que deveriam ser revisados pelos projetistas, como o forro dos corredores que estava interceptando as janelas, e outros pontos que não interfeririam no desenvolvimento deste trabalho, como os pilares dos pergolados não estarem avançando até a viga de fundação. Por fim, optou-se por não modelar novamente as paredes, as quais permaneceram como elementos de tipologia composta, visto que foi decidido que as tarefas relacionadas às paredes seriam alocadas a ela como um todo e representadas por diferentes cores.

5.3.2.2 Definições iniciais de planejamento e da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho

Tendo em vista a similaridade do Empreendimento E2 ao outro empreendimento da empresa já em execução, foi definido em conjunto com o engenheiro responsável pelo Empreendimento E2, que a estrutura de tarefas, a rede de precedência, os recursos necessários, e outras definições iniciais de planejamento poderiam ter como base as informações advindas do planejamento deste outro empreendimento.

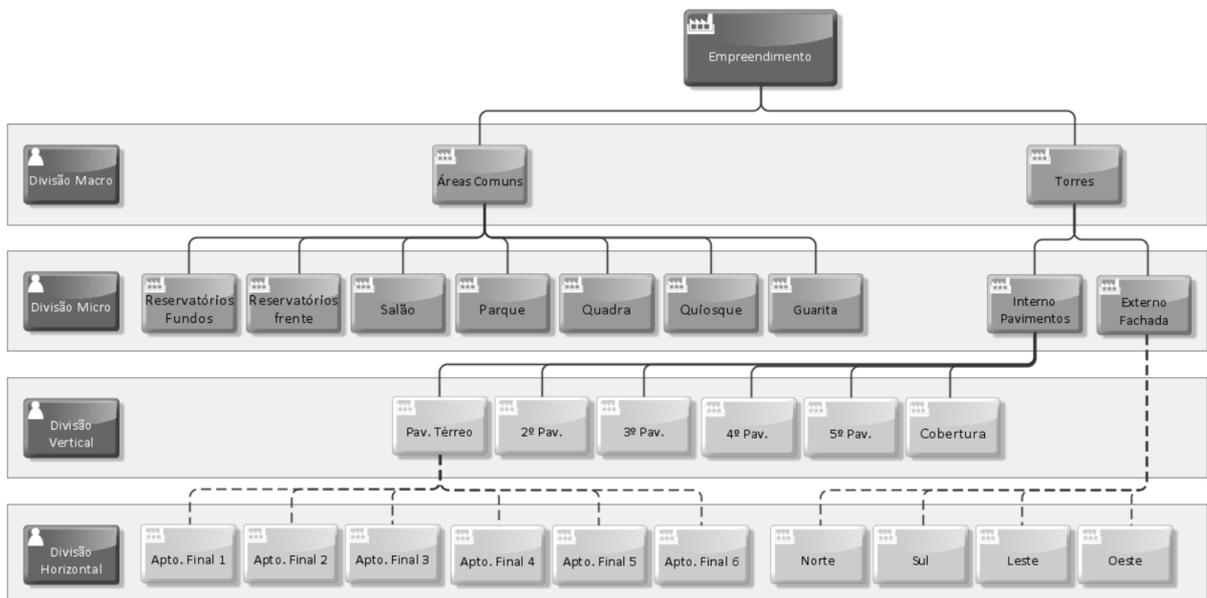
No plano de ataque inicial do Empreendimento E2 foi definido que, por questões de logística e de contratação, as fundações de todas as torres seriam executadas em um lote. Entretanto, no restante dos serviços seriam primeiramente executadas as torres A e B simultaneamente, seguidas pelas torres C, D, e E, com uma defasagem de tempo entre si.

Foi definido em conjunto com o engenheiro responsável que os lotes de produção e de transferência para as tarefas iniciais das torres, como a estrutura e alvenaria, seria o pavimento, e para as tarefas de acabamento internas foi definido cada um dos apartamentos. Para as tarefas externas da torre, o pano de fachada foi definido como o lote de produção e de transferência, podendo ainda ser subdividido em andares. As redes de água e esgoto do condomínio seriam executadas em uma única etapa, enquanto a execução do pavimento e a ligação das redes de água, esgoto e pluvial aos prédios seriam executadas em lotes. Neste ponto, cabe ressaltar que o desmembramento dos itens de medição, aceito pelo órgão financiador, permitiu uma divisão mais flexível dos lotes de produção, de forma que estes atendam ao mesmo tempo o plano de longo prazo e aos critérios e lotes de medição.

Com base nestas definições, o pesquisador propôs uma divisão da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, a qual é apresentada na Figura 60. Esta estrutura é inicialmente dividida em torres e áreas comuns. Em um segundo nível, as áreas comuns são subdivididas em áreas menores, correspondentes a cada uma das áreas condominiais. As torres, em um segundo nível foram subdivididas em área interna e externa, sendo que a área interna se subdivide verticalmente em pavimentos, e cada um destes pavimentos se subdivide horizontalmente em apartamentos. A parte externa é subdividida horizontalmente em panos de fachada (norte, sul, leste e oeste).

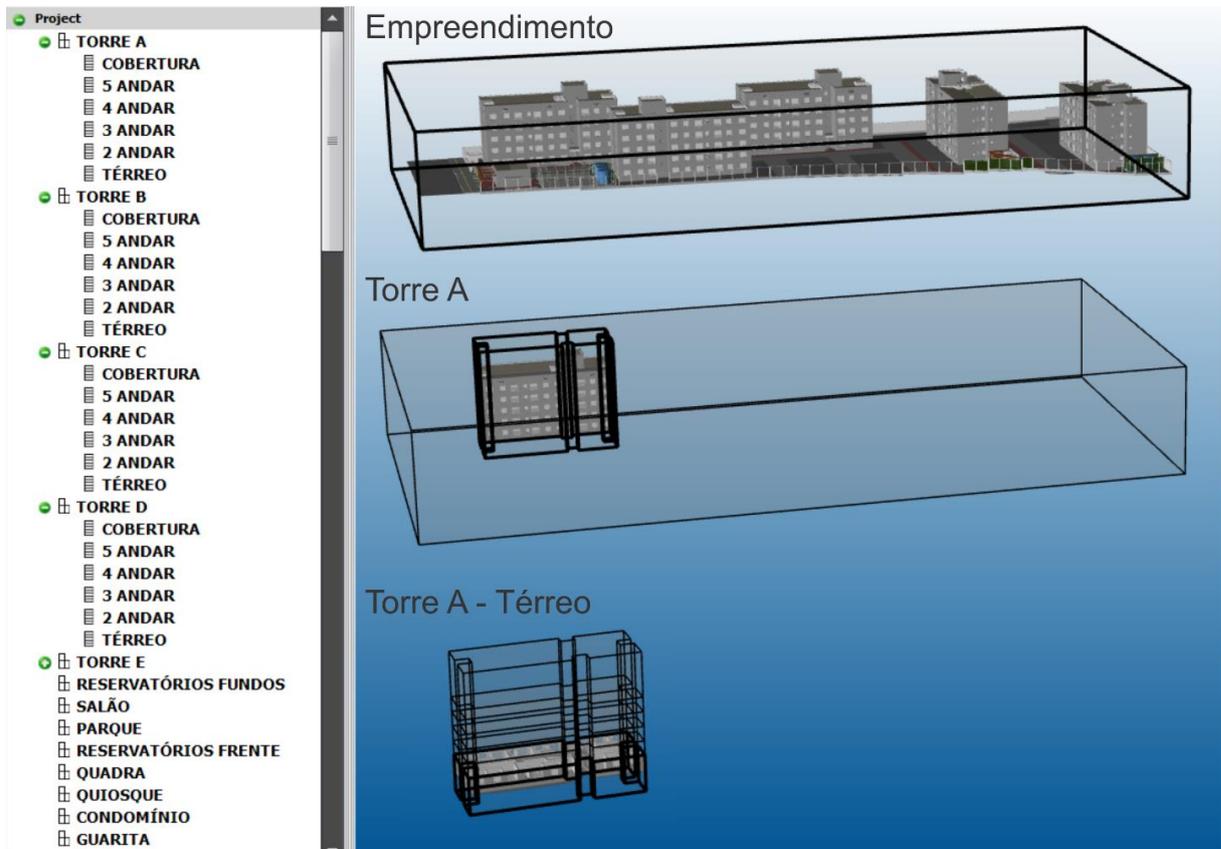
Cada um dos 5 arquivos que compunham o empreendimento (implantação, guarita, quiosque, salão de festas e torres) foram exportados para o *software* e em seguida, com base no fluxograma apresentado (Figura 60), foi criada a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho. Para definir a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho no *software* foram seguidas as mesmas etapas descritas no item 5.2.3.2, realizadas no estudo empírico 1 deste trabalho. Neste primeiro momento optou-se por dividir a estrutura em cada uma das áreas comuns do empreendimento e em torres e seus respectivos pavimentos, o que resultou na estrutura apresentada na Figura 61. Esta figura permitiu ao engenheiro e demais envolvidos visualizarem os lotes definidos de forma espacial diretamente no modelo BIM.

Figura 60 – Estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E2



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 61 – Representação de parte da estrutura hierárquica de zonas de trabalho do Empreendimento E2, com ênfase ao pavimento térreo da torre A

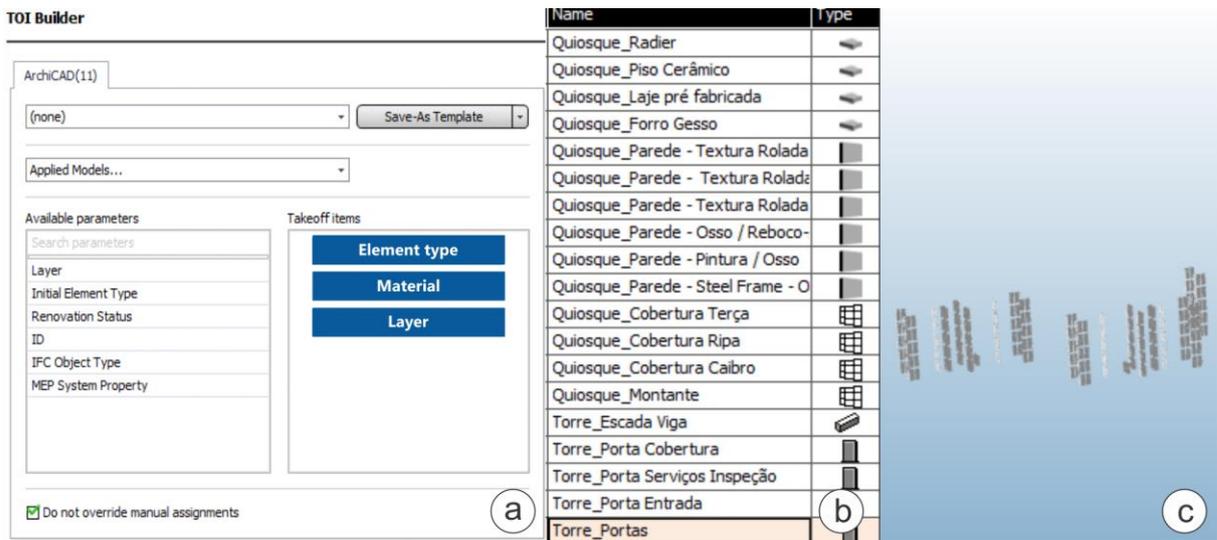


(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3.2.3 Etapas fundamentais associadas ao desenvolvimento do modelo 4D

A partir da importação do modelo BIM e da definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, foram definidos os parâmetros utilizados para agrupar os elementos do modelo (tipologia dos elementos, material e *layer*), apresentados na Figura 62a. Os grupos de elementos criados tinham seus nomes definidos de acordo com a respectiva localização e tipo de elemento, a fim de facilitar a futura vinculação destes com as tarefas (Figura 62b). Eles puderam ser facilmente conferidos na visualização 3D, como é o caso das portas das torres apresentado na Figura 62c.

Figura 62 – Elementos do modelo categorizados, sendo que o item que continha as portas das torres estava selecionado



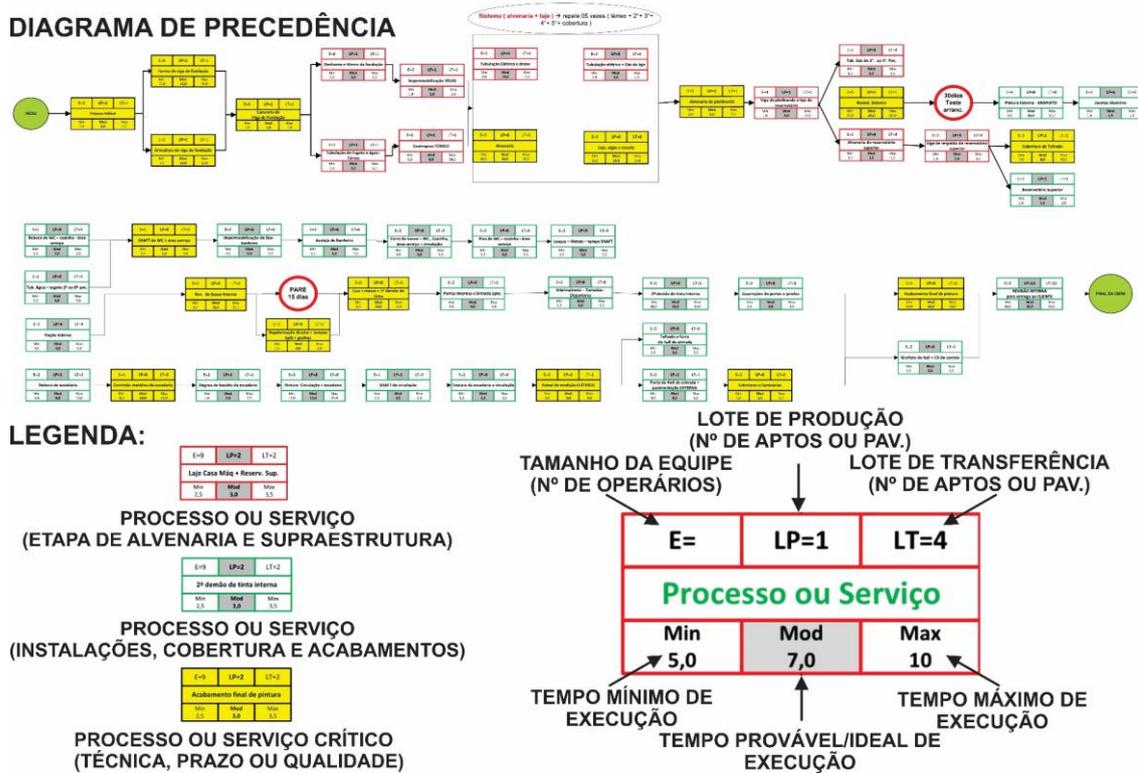
(Fonte: elaborado pelo autor)

Ao analisar a estrutura de custos, foi identificado que o grau de agregação do mesmo era incompatível com as tarefas a serem planejadas. Logo, seria necessário reestruturar toda a estrutura de custos a fim de conseguir associar os componentes de custo à uma tarefa. Com isso, foi definido com o engenheiro da Empresa B, que o modelo 4D seria desenvolvido de forma independente ao orçamento, visto que o foco principal do estudo era o planejamento do empreendimento. Isto só foi possível de ser realizado neste estudo, visto que a nova versão do *software* permitia fazer esta vinculação de forma independente aos componentes de custo.

5.3.2.4 Elaboração do plano de longo prazo

Primeiramente, o engenheiro responsável pelo Empreendimento E2 criou um diagrama de precedência, que, além de apresentar o sequenciamento padrão para as tarefas, incluiu informações relevantes ao planejamento (Figura 63). Estas informações relevantes dizem respeito a coloração de cada uma das caixas. Caixas amarelas representavam um processo ou serviço definido como crítico pelo engenheiro, em termos de técnica, prazo ou qualidade, sendo esta criticidade determinada com base na experiência do engenheiro. A caixa vermelha representa um processo ou serviço relacionado a etapa de alvenaria ou supraestrutura, e a caixa verde representa os processos ou serviços de instalações, cobertura e acabamento. Além disso, em cada uma destas caixas foram inseridas definições importantes relacionadas a execução do processo ou serviço em questão, como o número de operários ideal na equipe, o tamanho do lote de produção e transferência, bem como o tempo mínimo, ideal e máximo de execução do mesmo.

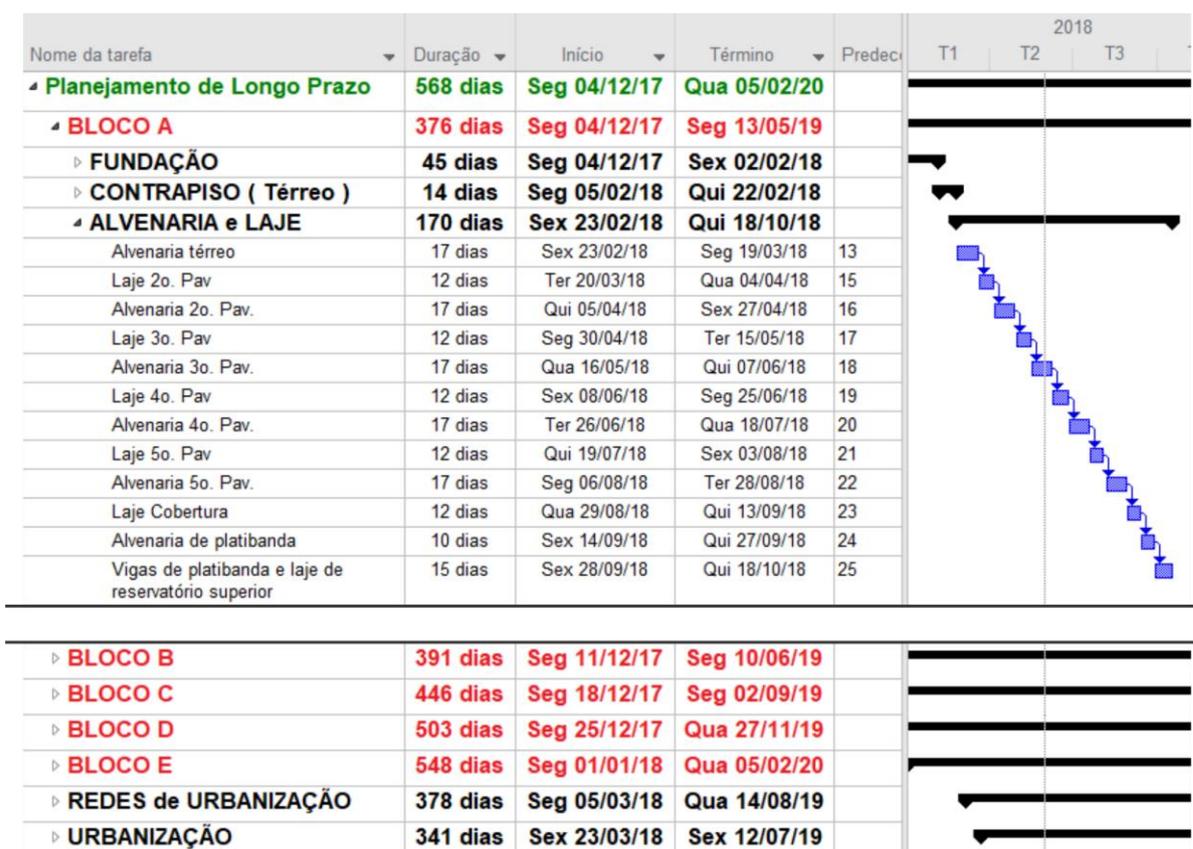
Figura 63 – Diagrama de precedência da unidade base com informações que serviram como base para o plano de longo prazo



(Fonte: adaptado da Empresa B)

Em uma discussão com o engenheiro responsável pelo Empreendimento E2, definiu-se que o plano de longo prazo deveria atender tanto a este diagrama de precedência definido, como os parâmetros nele estabelecidos. Nesse sentido, o plano deveria ter como base o sequenciamento das tarefas realizado, os lotes de produção e de transferência nele definidos, bem como considerar os tempos de execução ali definidos para definir as durações das tarefas e o ritmo de produção, além de atender ao cronograma de entrega, apresentado anteriormente na Figura 26. Como este estudo tinha um tempo limitado, e consequentemente o *software* adotado (Vico Office) não ficaria à disposição da Empresa B, foi decidido que o plano mestre seria desenvolvido no MS Project e na sequência transcrito para o Vico Office, a fim de que eles pudessem manipular o plano em uma situação futura caso não comprassem o *software* utilizado. Com isso, inicialmente foi desenvolvido o plano de longo prazo pelo engenheiro da empresa, o qual é apresentado em parte na Figura 64.

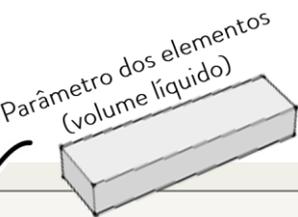
Figura 64 – Parte do plano de longo prazo



(Fonte: adaptado da Empresa B)

A transcrição do plano de longo prazo se fez necessária, visto que o plano mestre inicialmente criado precisou ser adaptado para ser inserido no Vico Office, o qual adota a abordagem baseada em zonas de trabalho. Primeiramente, foi inserida no Vico Office a lista de tarefas referentes ao plano de longo prazo. Ao criar essa lista, foi necessário agrupar as diferentes atividades que aconteciam em zonas de trabalhos distintas, como por exemplo as alvenarias dos diferentes pavimentos (Figura 64), a fim destas comporem uma única tarefa que acontece em diversos locais. Com isso, foram vinculados os parâmetros dos elementos do modelo às tarefas de forma direta, não sendo necessário vincular os elementos do modelo primeiramente aos componentes de custo, e esses às tarefas. Logo, a integração do custo com o planejamento não era mais compulsória nesta ferramenta. Esta vinculação pode ser visualizada na Figura 65, a qual mostra a vinculação do parâmetro de volume líquido das lajes das torres à tarefa correspondente.

Figura 65 – Vinculação dos elementos às tarefas



Lista de tarefas

0019	Alvenaria e Laje						725,00
0016	Laje					2.399,99	300,00
Code	Description	Qty	UOM	Hrs/UOM	UOM/Hr	Work	
	Torre_Lajes.Net Volume	880,29	M3	2,73	0,37	2.399,99	

(Fonte: elaborado pelo autor)

Como o volume de trabalho de uma tarefa (*Work* - em horas) nesta ferramenta é resultado da multiplicação dos quantitativos (*Qty*) pela produtividade fornecida (*Hrs/UOM*), foi necessário primeiramente somar a duração de todas as atividades que vieram a compor uma tarefa (informações retiradas do MS Project), e dividir esta duração da tarefa pelo quantitativo definido, para assim definir a produtividade a inseri-la no *software* para obter o volume de trabalho referente a tarefa. Como explicado anteriormente no item 5.2.3.4, a duração de cada uma das tarefas é resultado do volume de trabalho e das informações inseridas referentes aos fatores de produtividade e quantidade de recursos.

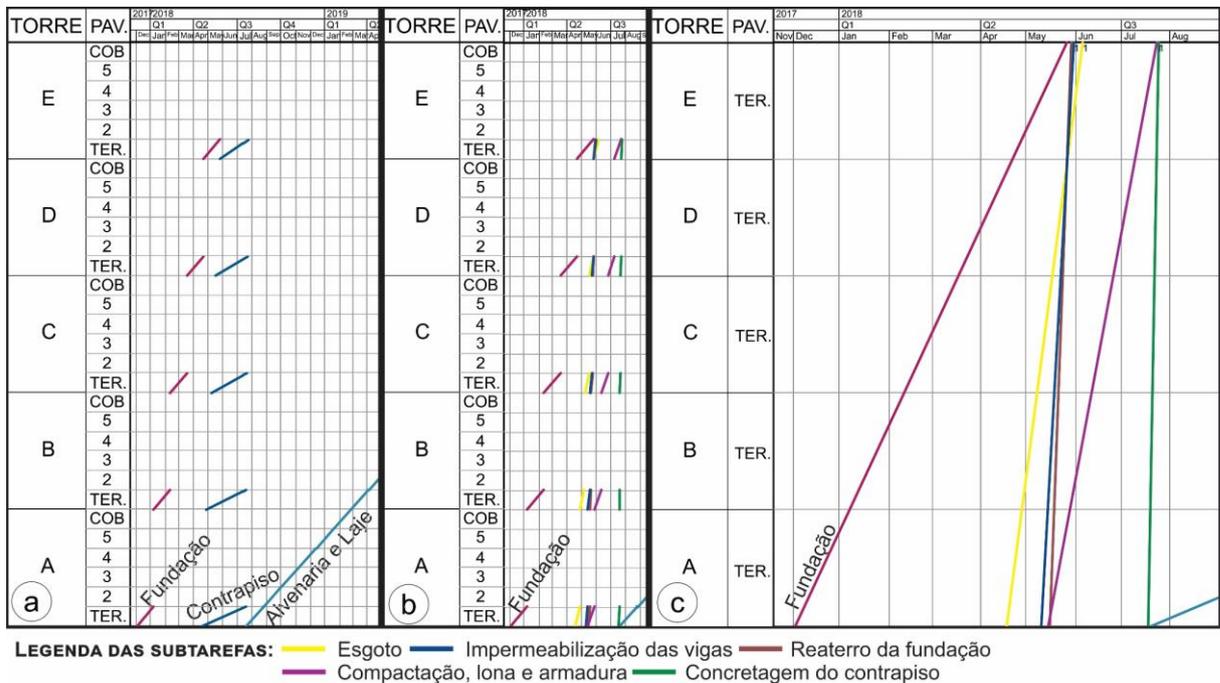
Então, foi necessário definir a sequência padrão de execução das zonas de trabalho e alocar as tarefas em um nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, o que permitiu definir os lotes de produção das atividades. Além disso, foi definida a lógica externa entre diferentes tarefas e a lógicas interna entre atividades de uma mesma tarefa, o que permitiu definir o sequenciamento das atividades, se elas deveriam ocorrer em fluxo ininterrupto ou serem executadas o quanto antes possível e o lote de transferência. Estas vinculações demandaram bastante atenção, entretanto puderam ser facilmente verificadas na linha de fluxo e no modelo 4D, o que permitiu verificar e eliminar erros de vinculação presentes no plano. Ainda, as durações, distribuídas entre as zonas de trabalho de acordo com a proporção de quantitativos contidos em cada uma das zonas de trabalho, foram ajustadas de acordo com as necessidades do plano.

Enquanto foi realizada a transcrição do plano de longo prazo, a partir do MS Project para o Vico Office, foram realizadas algumas análises a respeito da visualização do plano na linha de fluxo. No *software* utilizado foi possível gerar uma linha de fluxo de toda a obra, a qual agrupou uma quantidade grande de informação e acabou dificultando a visualização das tarefas. Entretanto, foi possível criar linhas de fluxo personalizadas a partir do mesmo banco de dados, para que pudesse ser visualizado apenas algumas tarefas e locais, reduzindo a quantidade de informação, porém contendo as informações necessárias para cada etapa da obra. Além disso, foram utilizadas tarefas resumo (*summary tasks*), que permitiram agrupar diversas tarefas em uma única tarefa resumo, com o intuito reduzir a quantidade de informação

na linha de fluxo e assim tornar a visualização do plano menos poluída. Quando necessário, foi possível desagrupar estas em suas subtarefas.

Ao analisar a tarefa resumo de contrapiso (Figura 66a), é verificado que ela seria executada em paralelo em todas as torres, não indicando se haveria necessidade de diferentes frentes de trabalho ou se existia folgas de tempo e espaço internas. Ao desagrupar essa tarefa resumo em suas subtarefas (Figura 66b), foi possível identificar que existem folgas entre as subtarefas definidas. Entretanto, não fica evidente se estas estariam ou não ocorrendo em fluxo ininterrupto (continuidade das equipes). Logo, ao filtrar somente os andares térreos das torres, onde ocorriam tais tarefas, ficou evidente que as equipes trabalhavam de forma ininterrupta (Figura 66c).

Figura 66 – (a) Linha de fluxo com tarefa resumo (contrapiso), (b) desagregação da tarefa resumo em suas subtarefas, (c) filtragem apenas dos pavimentos térreos das torres.



(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3.2.5 Uso do modelo 4D

Em um primeiro momento, a linha de fluxo com o apoio da simulação 4D inicial do plano de longo prazo foi utilizada pelo pesquisador para realizar algumas análises a respeito das durações e predecessoras das tarefas, e, em um segundo momento, foi utilizada para simular diferentes cenários. A primeira análise foi realizada pois se percebeu que, mesmo que as torres fossem idênticas, havia variações na duração das tarefas. Esta variação estava relacionada a diferentes casos. O primeiro deles diz respeito a folga de tempo presente entre as subtarefas, que quando visualizadas na forma de uma tarefa resumo, ou seja, todas agregadas em uma única tarefa, não permitia identificar esta folga de tempo interna na linha

de fluxo e na simulação 4D. Isso ocorreu nas atividades de fundação, acabamentos internos e limpeza final. No segundo caso foi identificada uma diferença de duração entre a tarefa de revestimento de gesso interno dos blocos D e E em relação aos blocos A, B e C. Essa diferença foi apontada como um equívoco presente no plano inicial e foi conseqüentemente corrigida. O terceiro caso observado foi nas torres A, B e C, nas quais foi deixado um *buffer* de 5 dias entre a tarefa de pintura e a sua antecessora, o que diferia das torres D e E, onde este *buffer* aumenta para 20 e 30 dias respectivamente. Isto foi justificado como uma necessidade gerada de postergar a conclusão de tais tarefas nas referidas torres. O quarto caso diz respeito a tarefa de chapisco e revestimento interno de gesso, que possuíam diferentes tarefas predecessoras. Nas torres A e B a predecessora do chapisco era o reboco interno da platibanda, e nas demais torres era a cobertura como um todo. Em relação ao revestimento interno de gesso, nas torres A, B e C a atividade predecessora era a estrutura metálica do telhado, e nas demais torres, era toda a estrutura do telhado. Isto foi justificado como uma falha no plano inicial desenvolvido e foi corrigido.

Além destas análises realizadas, foi realizada uma discussão a respeito do fluxo de trabalho com o uso da simulação 4D do Empreendimento E2 com o engenheiro responsável da empresa, e identificou-se uma forte interdependência entre os empreendimentos da Empresa B, bastante crítica ao planejamento. Esta interdependência estava relacionada ao Empreendimento E2 e o outro empreendimento, que já estava em etapas avançadas de execução. Este segundo empreendimento possuía dois jogos de formas para a execução das lajes, e iria ceder em um primeiro momento um dos jogos para executar as torres A e B do Empreendimento E2, e em um segundo momento, quando o segundo jogo utilizado fosse liberado, cederia para executar as torres C e D do Empreendimento E2. A torre E seria executada após a finalização das torres A e B, e utilizaria o primeiro jogo de formas disponibilizado. Além disso, o contrato realizado para execução da supraestrutura era com o mesmo subempreiteiro em ambos empreendimentos, o qual fornecia tais formas e equipes. Esta situação é ilustrada por meio da Figura 67, a qual simplifica tais fluxos do jogo de formas.

Figura 67 – Interdependência entre diferentes empreendimentos da Empresa B



(Fonte: elaborado pelo autor)

Com essa interdependência identificada surgiram alguns questionamentos: se haveria como reduzir a variabilidade e incerteza presente nesta tarefa crítica, visto que o atraso dela afetaria diretamente o prazo final da obra, além de quantos jogos de forma e equipes seriam necessários para atender o cronograma de entrega das torres. Logo, foi definido com o Engenheiro responsável pelo Empreendimento E2, que seriam feitas simulações 4D do empreendimento com o apoio da linha de fluxo, a fim de definir um plano de longo prazo que atendesse ao cronograma de entregas das torres, ao mesmo tempo que atendesse ao diagrama de precedência e a essa interdependência entre os empreendimentos identificada. Tendo em vista que as torres possuem uma entrega faseada, foram inseridas as datas marco de entrega de cada uma delas no plano. Estas datas definidas foram facilmente visualizadas por uma linha vertical vermelha sobre o cronograma.

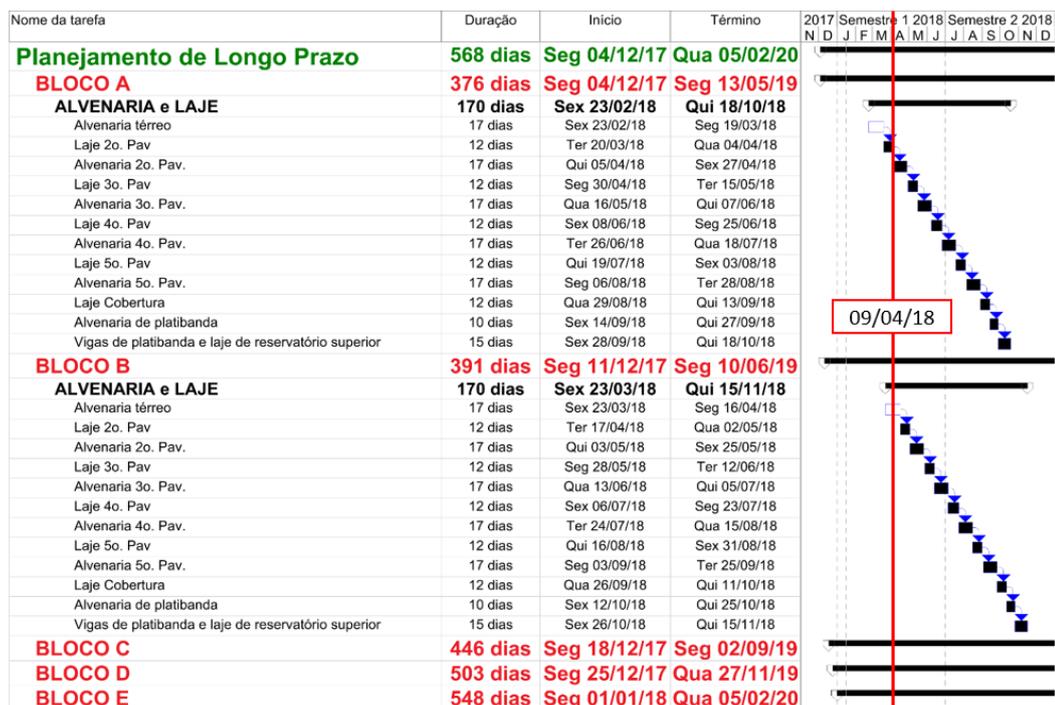
Além disso, buscou-se com a simulação do plano de longo prazo definir o número de equipes, os ritmos de produção e folgas de tempo e espaço para tarefas mais críticas identificadas. Optou-se por dar mais atenção às atividades de execução das alvenarias e lajes visto que elas poderiam ser controladas durante o estudo, o atraso dessas afeta diretamente o prazo de entrega das torres, e ambas são interdependentes e precisam ser executadas sempre uma em sequência da outra. As simulações realizadas foram resultado da vinculação das tarefas definidas aos grupos 4D criados, simulando apenas o que era necessário para a análise, que neste caso foram as tarefas de alvenaria e laje.

Simulação do plano inicial

Primeiramente foi definido com o engenheiro responsável, que a cada duas torres haveria uma equipe para executar as lajes e outra equipe para executar a alvenaria. Ao analisar o plano de longo prazo inicial, representado no gráfico de Gantt (Figura 68), não se conseguiu verificar interferências entre estas

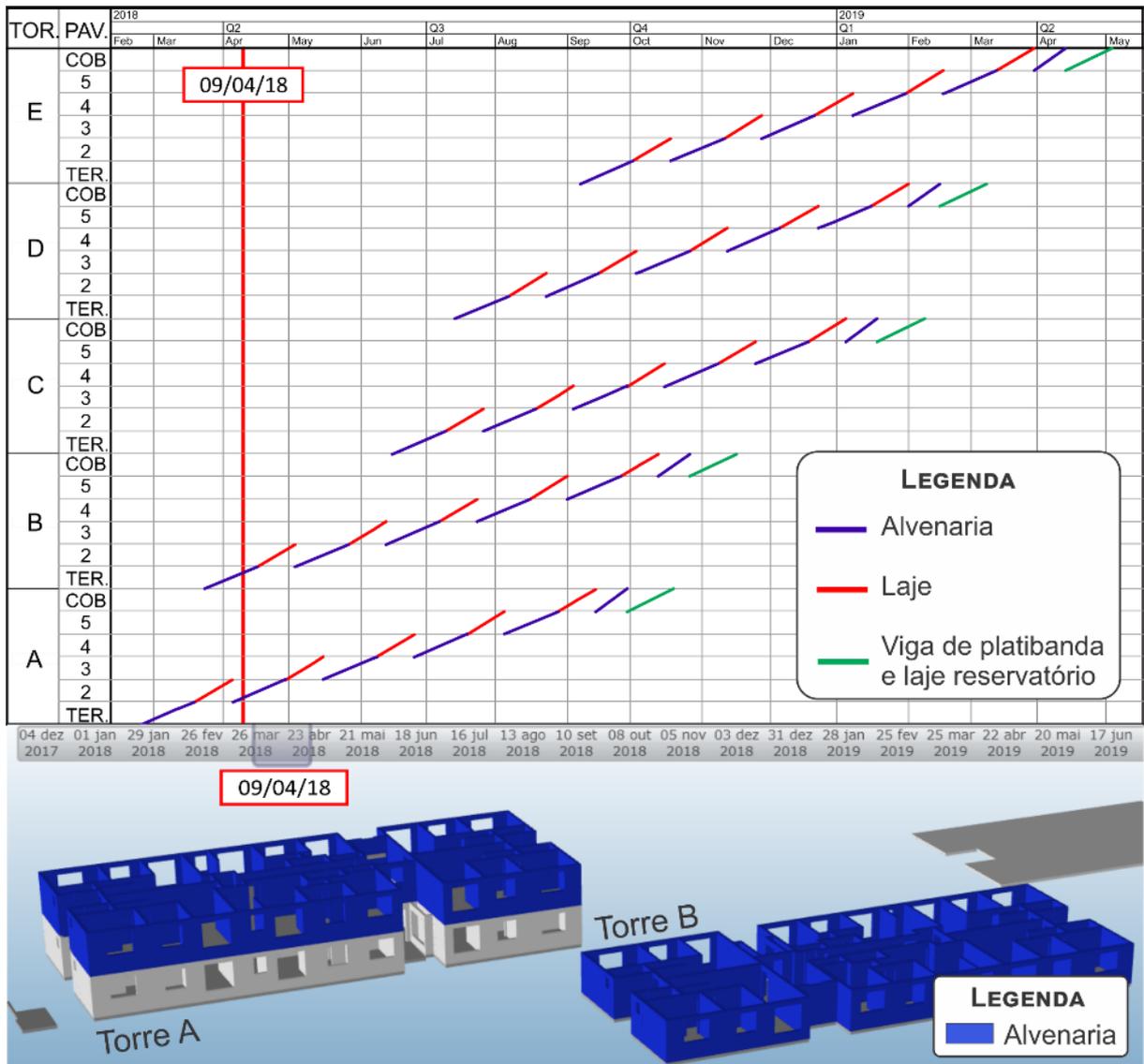
atividades ocorrendo em um mesmo local tão facilmente. Por outro lado, isso foi evidenciado na linha de fluxo e na simulação 4D (Figura 69), os quais permitiram verificar a sobreposição das tarefas de alvenaria que estavam acontecendo simultaneamente nas torres A e B. O mesmo pôde ser verificado na tarefa de execução das lajes. Entretanto, a menos que a empresa contratasse outra equipe, este plano era inviável. Além desta solução não ser interessante para a Empresa B, se houvessem duas equipes, uma equipe ficaria parte do tempo ociosa. Em outra análise realizada nesta simulação, percebeu-se que nas datas de início da execução das tarefas de alvenaria e laje nas torres C e D, o segundo jogo de formas provavelmente ainda não estaria liberado, gerando a necessidade de alugar um terceiro jogo de formas e contratar uma outra equipe, a qual não era a ser disponibilizada que estava trabalhando no empreendimento em andamento. Logo, esta solução foi avaliada como não adequada para a estratégia definida.

Figura 68 – Gráfico de Gantt das tarefas de alvenaria e laje das torres A e B



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 69 – Execução da alvenaria das torres A e B ao mesmo tempo evidenciada na linha de fluxo e na simulação 4D



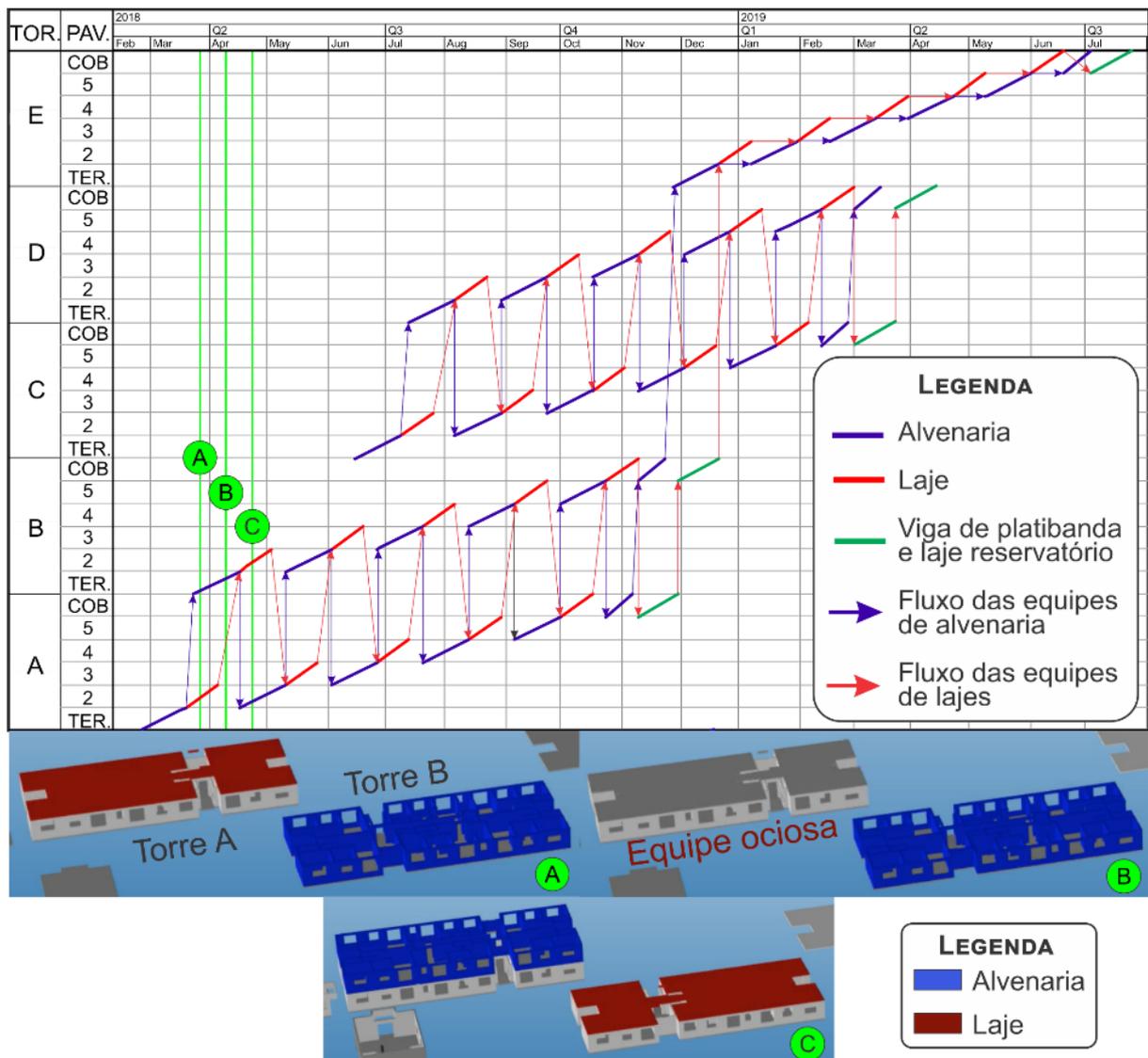
(Fonte: elaborado pelo autor)

Simulação 1

Foi realizada a simulação 1 com o intuito de verificar se seria viável contratar apenas uma equipe para executar cada uma das tarefas em questão e atender ao cronograma de entrega. Nesta simulação, foram inseridos vínculos entre as torres A, B e E, e entre as torres C e D, para simular as equipes de alvenaria e lajes trabalhando de forma intercalada nas torres A e B, e quando finalizassem estas iniciariam a torre E. As torres C e D, seriam executadas de forma intercalada com a outra equipe a ser disponibilizada em um segundo momento (Figura 70). Como conclusão desta simulação, percebeu-se que ela não atendeu ao cronograma de entregas, necessitava de mais uma equipe para cada um dos serviços e de um jogo de formas para atender as torres C e D. Além disso, foi possível perceber que havia um desbalanceamento entre o tempo de ciclo das alvenarias e das lajes, sendo o das alvenarias superior, o

que geraria ociosidade nas equipes que executariam as lajes. A simulação 4D, apresentada na Figura 70, mostra três diferentes momentos, evidenciando a ociosidade da equipe de lajes no segundo momento. Ainda na figura é possível verificar por meio de setas as dependências entre as atividades, representadas por cores.

Figura 70 – Desbalanceamento das atividades evidenciada pelos fluxos das equipes



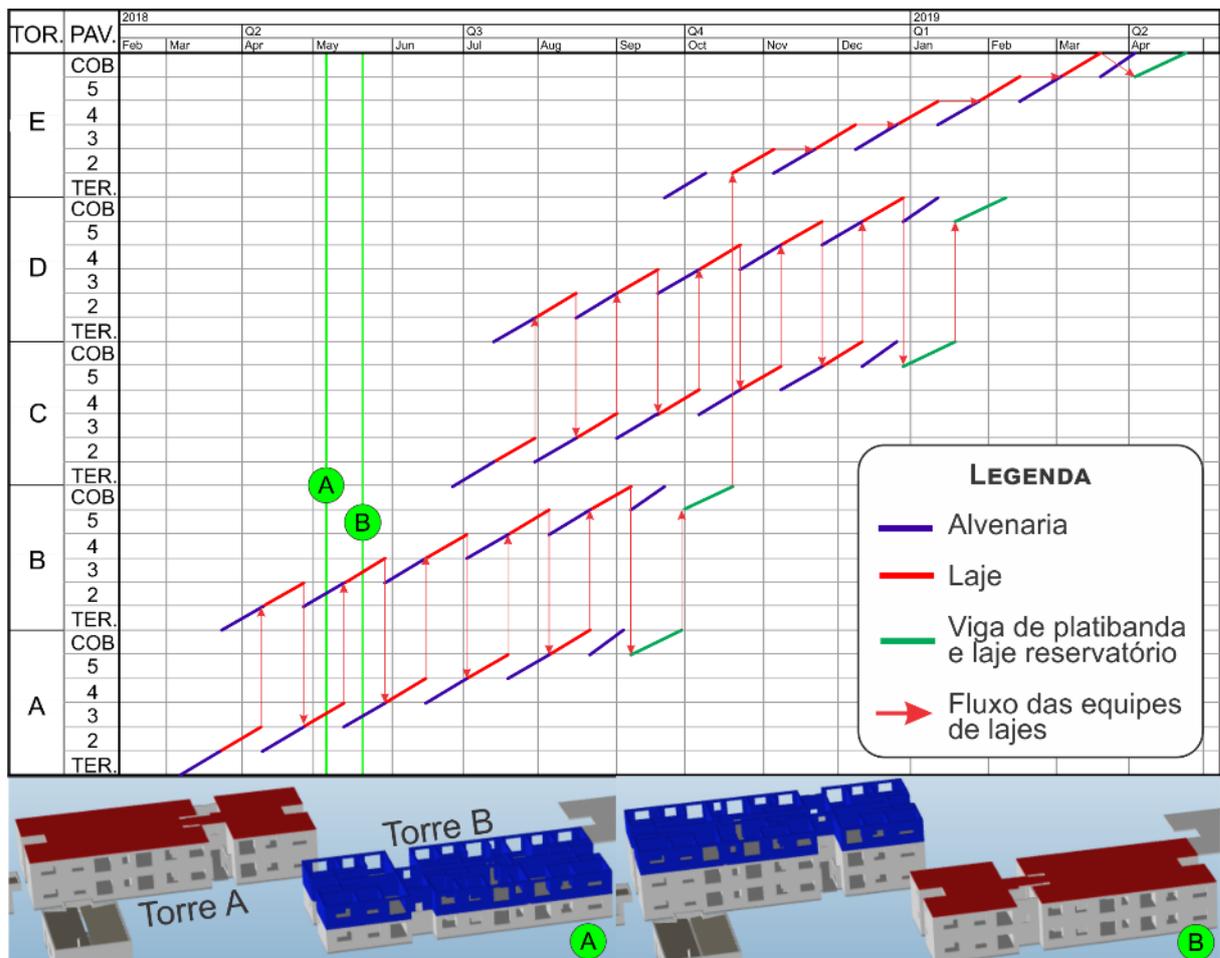
(Fonte: elaborado pelo autor)

Simulação 2

A simulação 1 evidenciou o desbalanceamento das atividades, e gerou uma discussão com o engenheiro responsável em uma reunião de curto prazo a fim de balancear tais atividades. Com isso, buscou-se dados do outro empreendimento, e percebeu-se que a alvenaria de um apartamento era executada a cada 2 dias. Conseqüentemente, como o lote de produção é o pavimento, e ele é composto por 6 apartamentos, foi decidido reduzir o tempo de execução da alvenaria do pavimento de 17 para 12 dias,

o que além de balancear as duas atividades, gerou um cronograma que atendeu as datas de entrega das torres. Nesta simulação foram mantidas as dependências entre as torres definidas na simulação 1. As imagens da simulação 4D, apresentada em dois diferentes momentos na Figura 71 evidencia a sincronização das equipes.

Figura 71 – Balanceamento das equipes evidenciado pelo fluxo das equipes de lajes



(Fonte: elaborado pelo autor)

Simulação 3

Esta terceira simulação surgiu com o intuito de verificar quais as implicações da utilização de apenas um jogo de formas e uma equipe para cada um dos serviços, para executar todas as torres. Ao analisar tal simulação com o engenheiro responsável, percebeu-se que não seria possível atender ao cronograma de entrega das torres C e E em termos de prazo.

Simulação 4

Como apenas um jogo de formas e uma equipe para cada um dos serviços de execução das lajes e alvenarias não atendeu ao cronograma de entrega, esta simulação foi feita com o intuito de verificar o

menor período possível de utilização de um terceiro jogo de formas alugado e de uma outra equipe para cada um dos serviços de laje e alvenaria. Então, foi simulado que as torres A e B seriam executadas assim que fosse possível, e a torre E o mais tarde possível, mas cumprindo com o seu prazo de entrega. Com isso, o jogo de formas liberado das torres A e B iria ser utilizado para as torres C e D enquanto a torre E não iniciasse. Logo, seria necessário que um outro jogo de formas fosse locado e outra empresa contratada apenas para finalizar as torres C e D até o momento em que o outro empreendimento da empresa liberasse o seu segundo jogo de formas.

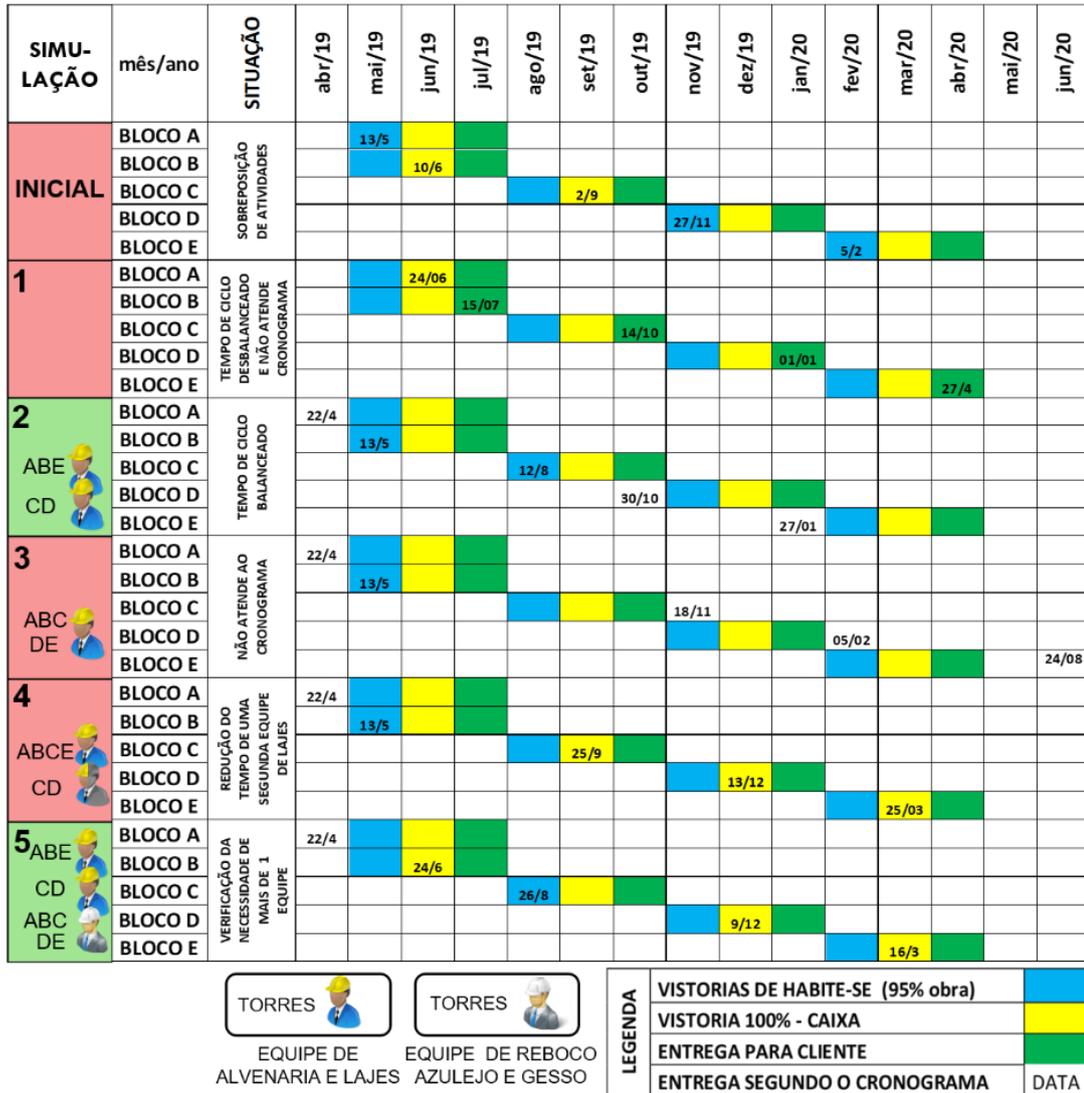
Foi identificada a ociosidade das formas utilizadas para as torres A, B e E de 18/10/2018 à 18/12/2018, ou seja, de 2 meses. Levando em conta que seriam necessários 7 meses para executar tais tarefas nas torres C e D, seria necessário locar as formas e contratar outra equipe por um período de 5 meses. Além disso, seria necessário antecipar 2 meses a execução do contrapiso e das demais tarefas associadas das torres C e D para que não fosse necessário alugar o terceiro jogo de formas duas vezes em momentos distintos. Portanto, percebeu-se que esta solução não era adequada e nem viável de ser adotada.

Simulação 5 – Solução adotada

Tendo em vista que a simulação 2 atendeu ao cronograma de entrega e as demais definições, ficou decidido que o primeiro jogo de formas seria utilizado para as torres A e B e, assim que este fosse liberado, seria utilizado na torre E. No momento que as torres C e D tivessem que iniciar, um terceiro jogo de formas a ser utilizado seria alugado até que o outro empreendimento cedesse o que estava utilizando. Com isso, o engenheiro responsável pelo Empreendimento E2 colocou na pauta da reunião se na solução definida seria necessário mais de uma equipe para executar as tarefas de reboco externo, azulejos e revestimento de gesso. Consequentemente, foi realizada esta simulação e observou-se que o cronograma sofre pequenas alterações em termos de prazos, não compromete a entrega das torres e que poderia ser contratada apenas uma equipe para estes serviços analisados. Na Figura 72 é apresentado um resumo dos resultados obtidos nas simulações, e o impacto de cada uma dessas na data de entrega das torres em relação as datas planejadas de vistoria do habite-se, do órgão financiador e de entrega para o cliente.

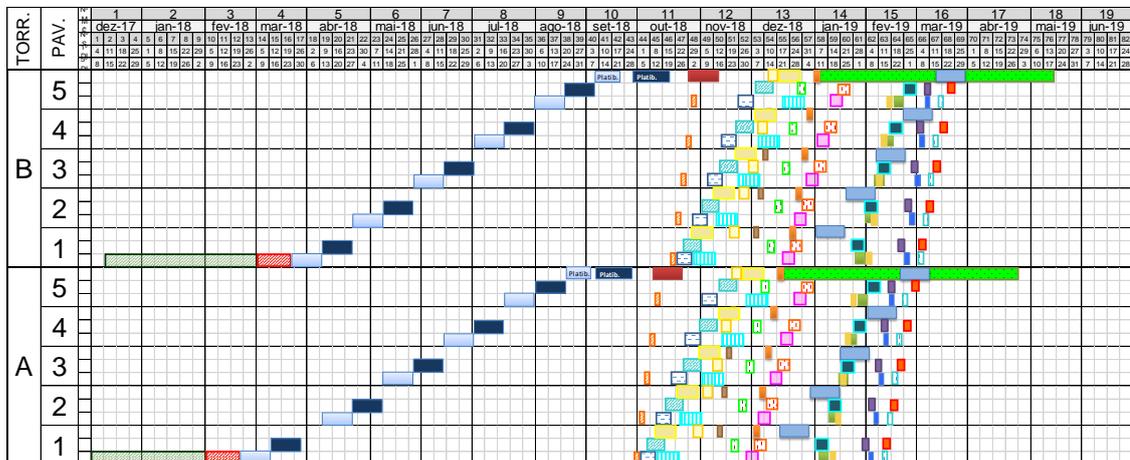
Ao final de todas as simulações, foi definido o plano de longo prazo do empreendimento, e este foi transcrito do *software* utilizado para uma linha de balanço desenvolvida no Excel a fim de que a empresa pudesse seguir usando-a após o término deste estudo, visto que ela não tinha o Vico Office a sua disposição. Parte do plano é apresentado na Figura 73, que mostra as torres A e B.

Figura 72 – Cronograma de entrega dos blocos combinado com os resultados das simulações



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 73 – Parte da linha de balanço final transcrita para o Excel, representando o plano das torres A e B



(Fonte: elaborado pelo autor)

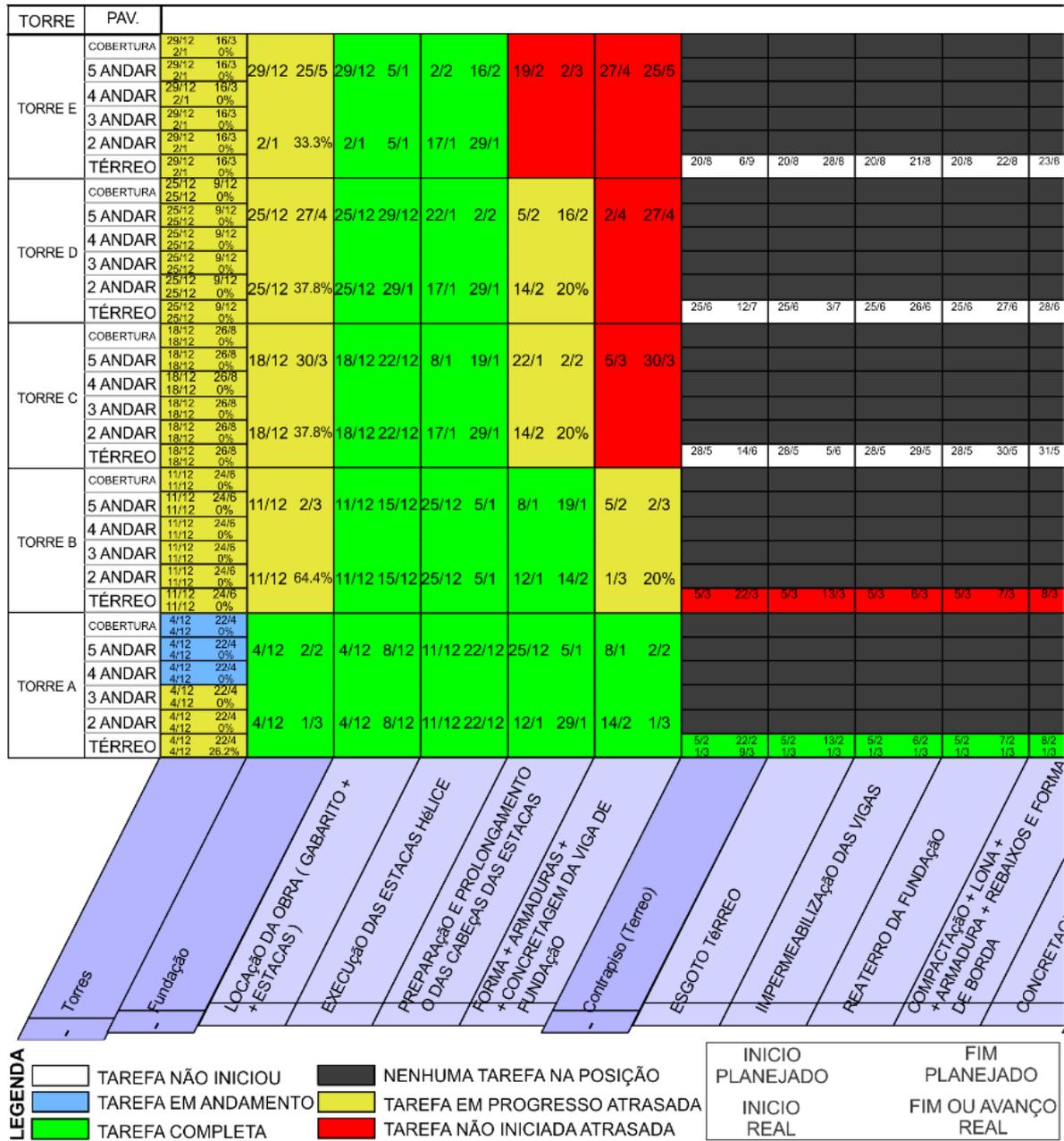
5.3.2.6 Controle da produção

Tendo em vista que este estudo ocorreu nas etapas iniciais da obra e que esta pesquisa precisaria ser encerrada, foi definido com o engenheiro responsável pelo Empreendimento E2 que seria dado ênfase ao controle das atividades relacionadas à fundação, contrapiso, alvenaria e lajes. Com isso, foram realizadas visitas semanais a obra, a fim de acompanhar o planejamento de curto prazo do Empreendimento E2. Os pacotes de trabalho semanais foram criados e acompanhados diretamente no sistema da empresa. Não eram realizadas reuniões de curto prazo com todos os empreiteiros em conjunto, mas o plano era gerado e discutido com os empreiteiros individualmente, visto que era a forma como eles trabalhavam, e poucas equipes estavam envolvidas no início da obra. Para dissipar as informações do plano era filtrado no sistema as atividades da semana de cada um dos empreiteiros, impresso e entregue a eles. Além disso, foi utilizado o quadro de controle (Figura 74) que permitiu identificar por meio de cores, a situação de cada uma das atividades em cada uma das zonas de trabalho, bem como suas datas de início e fim planejadas e reais. Para alimentar este quadro, as tarefas foram desmembradas em pacotes de trabalho, representados por meio de percentagens. Nesse sentido, semanalmente o quadro era alimentado com informações do canteiro de obras. O modelo 4D além de ter sido utilizado para verificação do sequenciamento e de possíveis interferências, foi também utilizado para discussão dos planos.

Como pode ser observado em vermelho na Figura 74, algumas atividades que deveriam ter iniciado, ainda não haviam iniciado na data de 1 de março de 2018. Este problema de atraso foi verificado até o final do estudo. Entretanto, como o objetivo era atender ao cronograma de entregas, foi controlado o impacto das tarefas destes atrasos nas demais, e o seu consequente impacto na conclusão das torres. Com isso, percebeu-se que a produção ainda estava sendo ajustada, sendo que nos primeiros ciclos de alvenaria e lajes estava ocorrendo um processo de aprendizado. Estes atrasos não comprometeram nenhum dos prazos. Além disso, os ciclos de produção das alvenarias e lajes definidos em 12 dias na simulação, puderam ser reduzidos para 10 dias no terceiro ciclo de produção, resultado de ajustes realizados nas equipes e aprendizagem a respeito do processo construtivo. Apesar de terem sido extraídas imagens da simulação 4D do empreendimento a fim de dissipar a informação dos planos, o estudo ocorreu numa etapa muito inicial, na qual se estava começando a executar as torres A e B, e, conseqüentemente, tais imagens não tiveram um impacto considerável nos planos de curto prazo, visto que o trabalho a ser executado era facilmente identificado no canteiro. Neste ponto, constatou-se que a realização de reuniões de curto prazo com todos os subempreiteiros, poderia ser um momento oportuno para a utilização do modelo 4D. Entretanto, como o estudo foi finalizado, apenas foi discutido com o engenheiro responsável o grande potencial de uso do modelo 4D para discussões dos planos em

reuniões de curto prazo com todos os subempreiteiros, visto que facilitaria a compreensão e a visualização do trabalho a ser realizado.

Figura 74 – Parte do quadro de controle visual



(Fonte: elaborado pelo autor)

Para realizar o controle do avanço físico foi utilizado uma planilha com atividades extraídas do software e reorganizadas no Excel (Figura 75). Na planilha foi possível acompanhar a duração, datas de início e término, e o progresso (em percentagem) das atividades nas zonas de trabalho no cenário ideal e real lado a lado. Este relatório foi gerado por torre, e ainda era gerado um relatório geral do empreendimento. Como conclusão, esta ferramenta apesar de ter fornecido informações relevantes do avanço da obra,

não serviu para a empresa reportar o avanço aos clientes, visto que este avanço estava relacionado ao avanço financeiro, resultado das medições realizadas pelo órgão financiador e importante ao desembolso financeiro dos clientes.

Figura 75 – Controle do avanço físico

AVANÇO FÍSICO - TORRE A									
HIERARQUIA	NOME	INICIO		FIM		PROGRESSO (%)			
		ALVO	REAL	ALVO	REAL	ALVO	REAL		
	TORRE A	04/12/2017	04/12/2017	16/03/2020	16/03/2020	7.9%	6.6%		
+1.12	FUNDAÇÃO	04/12/2017	04/12/2017	25/05/2018	25/05/2018	100.0%	100.0%		
-1.13	CONTRAPISO (TERREO)	05/02/2018	05/02/2018	06/09/2018	06/09/2018	100.0%	73.9%		
+1.13.1	ESGOTO TÉRREO	05/02/2018	05/02/2018	28/08/2018	28/08/2018	100.0%	100.0%		
+1.13.2	IMPERMEABILIZAÇÃO DAS VIGAS	05/02/2018	05/02/2018	21/08/2018	21/08/2018	100.0%	100.0%		
+1.13.3	REATERRO DA FUNDAÇÃO	05/02/2018	05/02/2018	22/08/2018	22/08/2018	100.0%	100.0%		
+1.13.4	COMPACTAÇÃO + LONA + ARMADURA + REBAIXOS E FORMA DE BORDA	08/02/2018	08/02/2018	05/09/2018	05/09/2018	100.0%	50.0%		
+1.13.5	CONCRETAGEM DO CONTRAPISO	22/02/2018	22/02/2018	06/09/2018	06/09/2018	100.0%	0.0%		
-1.14	ALVENARIA E LAJE	23/02/2018	23/02/2018	23/04/2019	23/04/2019	4.1%	0.0%		
+1.14.1	LAJE	13/03/2018	13/03/2018	19/03/2019	19/03/2019	0.0%	0.0%		
+1.14.2	*VIGAS DE PLATIBANDA E LAJE DE RESERVATÓRIO SUPERIOR	07/09/2018	07/09/2018	23/04/2019	23/04/2019	0.0%	0.0%		
-1.14.3	ALVENARIA	23/02/2018	23/02/2018	02/04/2019	02/04/2019	8.6%	0.0%		
1.14.3.2	TORRE A -> 2 ANDAR	09/04/2018	09/04/2018	25/04/2018	25/04/2018	0.0%	0.0%		
1.14.2.2	TORRE A -> 2 ANDAR	14/05/2018	14/05/2018	29/05/2018	29/05/2018	0.0%	0.0%		
1.1				02/07/2018	02/07/2018	0.0%	0.0%		
1.1				08/2018	08/2018	0.0%	0.0%		
1.1									
1.12	RUNDADO								
1.12.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA (GABARITO)	1.12.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA (GABARITO)	1.12.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA (GABARITO)	1.12.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA (GABARITO)	1.12.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA (GABARITO)
1.12.2	EXECUÇÃO DAS ESTACAS	1.12.2	EXECUÇÃO DAS ESTACAS	1.12.2	EXECUÇÃO DAS ESTACAS	1.12.2	EXECUÇÃO DAS ESTACAS	1.12.2	EXECUÇÃO DAS ESTACAS
1.12.3	PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO	1.12.3	PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO	1.12.3	PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO	1.12.3	PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO	1.12.3	PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO
1.12.4	FORMA + ARMADURAS + CONTRAPISO (TERREO)	1.12.4	FORMA + ARMADURAS + CONTRAPISO (TERREO)	1.12.4	FORMA + ARMADURAS + CONTRAPISO (TERREO)	1.12.4	FORMA + ARMADURAS + CONTRAPISO (TERREO)	1.12.4	FORMA + ARMADURAS + CONTRAPISO (TERREO)
1.12.5	TUBULAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO	1.12.5	TUBULAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO	1.12.5	TUBULAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO	1.12.5	TUBULAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO	1.12.5	TUBULAÇÃO DE ÁGUA E ESGOTO
1.12.6	REBOCO DE WC + COZINHA	1.12.6	REBOCO DE WC + COZINHA	1.12.6	REBOCO DE WC + COZINHA	1.12.6	REBOCO DE WC + COZINHA	1.12.6	REBOCO DE WC + COZINHA
1.12.7	IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONTRAPISO	1.12.7	IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONTRAPISO	1.12.7	IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONTRAPISO	1.12.7	IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONTRAPISO	1.12.7	IMPERMEABILIZAÇÃO DO CONTRAPISO
1.12.8	ALVENARIA E LAJE	1.12.8	ALVENARIA E LAJE	1.12.8	ALVENARIA E LAJE	1.12.8	ALVENARIA E LAJE	1.12.8	ALVENARIA E LAJE
1.12.9	RAÇÃO INTERNA	1.12.9	RAÇÃO INTERNA	1.12.9	RAÇÃO INTERNA	1.12.9	RAÇÃO INTERNA	1.12.9	RAÇÃO INTERNA
1.12.10	COLUNA MONTANTE + DGS	1.12.10	COLUNA MONTANTE + DGS	1.12.10	COLUNA MONTANTE + DGS	1.12.10	COLUNA MONTANTE + DGS	1.12.10	COLUNA MONTANTE + DGS
1.12.11	ADULEIO DE BANHEIRO	1.12.11	ADULEIO DE BANHEIRO	1.12.11	ADULEIO DE BANHEIRO	1.12.11	ADULEIO DE BANHEIRO	1.12.11	ADULEIO DE BANHEIRO
1.12.12	REVESTIMENTO DE GESSO	1.12.12	REVESTIMENTO DE GESSO	1.12.12	REVESTIMENTO DE GESSO	1.12.12	REVESTIMENTO DE GESSO	1.12.12	REVESTIMENTO DE GESSO
1.12.13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	1.12.13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	1.12.13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	1.12.13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO	1.12.13	ESQUADRIAS DE ALUMÍNIO
1.12.14	PLAQUAS E METAIS (VASO)	1.12.14	PLAQUAS E METAIS (VASO)	1.12.14	PLAQUAS E METAIS (VASO)	1.12.14	PLAQUAS E METAIS (VASO)	1.12.14	PLAQUAS E METAIS (VASO)
1.12.15	TANQUE E ACABAMENTO	1.12.15	TANQUE E ACABAMENTO	1.12.15	TANQUE E ACABAMENTO	1.12.15	TANQUE E ACABAMENTO	1.12.15	TANQUE E ACABAMENTO
1.12.16	PORTAS INTERNAS E ENTRADA	1.12.16	PORTAS INTERNAS E ENTRADA	1.12.16	PORTAS INTERNAS E ENTRADA	1.12.16	PORTAS INTERNAS E ENTRADA	1.12.16	PORTAS INTERNAS E ENTRADA
1.12.17	INTERUPTORES TOMADA	1.12.17	INTERUPTORES TOMADA	1.12.17	INTERUPTORES TOMADA	1.12.17	INTERUPTORES TOMADA	1.12.17	INTERUPTORES TOMADA
1.12.18	REVESTIMENTO EXTERNO	1.12.18	REVESTIMENTO EXTERNO	1.12.18	REVESTIMENTO EXTERNO	1.12.18	REVESTIMENTO EXTERNO	1.12.18	REVESTIMENTO EXTERNO
1.12.19	ESCADARIA E SACADA	1.12.19	ESCADARIA E SACADA	1.12.19	ESCADARIA E SACADA	1.12.19	ESCADARIA E SACADA	1.12.19	ESCADARIA E SACADA
1.12.20	PINTURA DA CIRCULAÇÃO	1.12.20	PINTURA DA CIRCULAÇÃO	1.12.20	PINTURA DA CIRCULAÇÃO	1.12.20	PINTURA DA CIRCULAÇÃO	1.12.20	PINTURA DA CIRCULAÇÃO
1.12.21	PINTURA EXTERNA	1.12.21	PINTURA EXTERNA	1.12.21	PINTURA EXTERNA	1.12.21	PINTURA EXTERNA	1.12.21	PINTURA EXTERNA
1.12.22	ACABAMENTOS INTERNOS	1.12.22	ACABAMENTOS INTERNOS	1.12.22	ACABAMENTOS INTERNOS	1.12.22	ACABAMENTOS INTERNOS	1.12.22	ACABAMENTOS INTERNOS
1.12.23	FORRO DE GESSO	1.12.23	FORRO DE GESSO	1.12.23	FORRO DE GESSO	1.12.23	FORRO DE GESSO	1.12.23	FORRO DE GESSO

(Fonte: elaborado pelo autor)

Apesar de não haver um planejamento de médio prazo formalizado, foram extraídas listas contendo tarefas que deveriam iniciar a serem executadas em uma janela de tempo de três meses (Figura 76). Para isso, foi feito um filtro com esse intervalo de médio prazo a partir da linha de fluxo. Esta lista de tarefas permitiu identificar algumas tarefas que deveriam ser executadas num futuro próximo e que possuam restrições pendentes a serem removidas a fim de serem executadas, como por exemplo a necessidade do segundo jogo de formas para iniciar a torre C.

Neste estudo, além do PPC, foi utilizado o indicador de terminalidade para medir o desempenho do plano de curto prazo. Nesse sentido, foram acompanhadas as tarefas em andamento no período analisado. Para realizar este controle, foram utilizadas as ferramentas criadas ainda na Empresa A (item 5.2.3.6). As poucas adaptações realizadas dizem respeito a necessidade da Empresa B em controlar a terminalidade das atividades que entrariam na planilha de medição mensal. Logo, como pode ser

observado na Figura 77, foi inserida uma legenda que permitia de forma manual preencher as atividades planejadas para o mês, segundo a medição prevista, as que estavam em andamento e quais haviam sido verificadas e concluídas. O indicador de terminalidade foi acompanhado no início da obra, quando haviam poucas atividades acontecendo. Logo, não foram identificados problemas de terminalidade relevantes no período de 2 meses de acompanhamento. Segundo o engenheiro da Empresa B, em etapas mais avançadas da obra a terminalidade seria um ponto muito mais crítico e importante de ser acompanhado em comparação com esta etapa inicial. A Figura 77 mostra um momento da obra em que a alvenaria do pavimento térreo estava em execução. Nesta figura é possível verificar que o lote de produção das tarefas de fundação e contrapiso é o pavimento, sendo que tais atividades acontecem apenas no pavimento térreo. Já as alvenarias tiveram o lote de produção reduzido inicialmente, sendo este definido como o apartamento. Ainda é possível verificar que as atividades em verde foram concluídas e não apresentam falta de terminalidade.

Figura 76 – Lista de tarefas em uma janela de 3 meses

Médio prazo (3 meses) - versão 01/03/2018 (até 01/06/2018)						
HIERARQUIA	CÓDIGO	NOME DA ATIVIDADE	PLANEJADO		REAL	
			INICIO	FIM	INICIO	FIM
-1		Torres	08/01/2018	14/06/2018	14/02/2018	
-1.1		Fundação	08/01/2018	25/05/2018	14/02/2018	
-1.1.1		PREPARAÇÃO E PROLONGAMENTO DAS CABEÇAS DAS ESTACAS	22/01/2018	02/03/2018	14/02/2018	
1.1.1.1	TORRE C	TORRE C	22/01/2018	02/02/2018	14/02/2018	
1.1.1.2	TORRE D	TORRE D	05/02/2018	16/02/2018	14/02/2018	
1.1.1.3	TORRE E	TORRE E	19/02/2018	02/03/2018		
-1.1.2		FORMA + ARMADURAS + CONCRETAGEM DA VIGA DE FUNDAÇÃO	08/01/2018	25/05/2018	14/02/2018	
1.1.2.2	TORRE B	TORRE B	05/02/2018	02/03/2018	01/03/2018	
1.1.2.3	TORRE C	TORRE C	05/03/2018	30/03/2018		
1.1.2.4	TORRE D	TORRE D	02/04/2018	27/04/2018		
1.1.2.5	TORRE E	TORRE E	27/04/2018	25/05/2018		

(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 77 – Adaptação da planilha de controle de terminalidade

ZONAS DE TRABALHO			ATIVIDADES														
TORRE	PAVIMENTO	APTO	FUNDAÇÃO	Locação da obra (gabarito + estacas)	Execução das estacas Hélice	Preparação e prolongamento das	Forma + armaduras + Concretagem da viga de	CONTRAPISO (Térreo)	Esgoto térreo	Impermeabilização das vigas	Impermeabilização das vigas	Compactação + Iona + armadura + rebalcos e	Concretagem do contrapiso	ALVENARIA e LAJE	Alvenaria	Laje	
A	TÉRREO	A101	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
		A102	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
		A103	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
		A104	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
		A105	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
		A106	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A		
	2ª PAV	A201	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		A202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		A203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		A204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		A205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
		A206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

LEGENDA - PLANILHA EXCEL	
L	ZONA NÃO INICIADA
A	ZONA LIBERADA
A50%	ZONA EM ANDAMENTO
14/mai	ZONA EM ANDAMENTO COM 50% CONCLUÍDA
C	DATA PLANEJADA DE INÍCIO
-	ZONA COM PROBLEMAS
P	ZONA SEM ATIVIDADE
	PLANEJADA PARA O MÊS - PLS
LEGENDA - PREENCHIMENTO MANUAL	
	PLANEJADO NO MÊS
	INICIADO
	CONCLUÍDO

(Fonte: elaborado pelo autor)

5.3.2.7 Mudanças sugeridas e inicialmente acompanhadas na Empresa B

Nesta seção são apresentadas algumas das mudanças específicas sugeridas à Empresa B e relacionadas as implementações já mencionadas neste estudo, as quais puderam ser inicialmente acompanhadas.

Em diversas discussões com o engenheiro e demais envolvidos no Empreendimento E2, identificou-se a necessidade de melhorar a integração entre níveis de planejamento de longo e curto prazo. Isto foi evidenciado pelo aumento de restrições não removidas que estavam sendo identificadas tardiamente e faziam com que as decisões fossem tomadas muito rapidamente. O engenheiro responsável pelo Empreendimento E2 apontou que, apesar da experiência que tinha, todas as decisões e a identificação de restrições ficavam sob sua responsabilidade, e a modificação da solução construtiva adotada no Empreendimento E2 estava gerando novas demandas, ainda não vivenciadas por ele. Somado a isso, houve a inclusão de novos integrantes à equipe, os quais não possuíam pleno domínio da execução de tais empreendimentos. Logo, foi discutida a importância da adoção de um plano de médio prazo bem estruturado, pois assumir que a experiência era suficiente poderia trazer impactos ruins ao andamento da obra se uma restrição importante passasse despercebida. Além disso, se os demais funcionários tivessem mais informação e autonomia, eles poderiam ajudar a identificar as restrições presentes no empreendimento. Logo, decidiu-se implementar o plano de médio prazo ao final do estudo, não somente no Empreendimento E2, como nos demais empreendimentos da empresa, onde definiu-se que as reuniões ocorreriam a cada 15 dias. Com isso, o pesquisador disponibilizou de planilhas a fim de viabilizar tal plano (Figura 78). A implementação, foi iniciada ao final do estudo e não pode ser acompanhada, sendo a implementação e seu impacto acompanhados por outra pesquisadora inserida para dar andamento na implementação de tal plano.

Figura 78 – Planilhas de médio prazo

Empreendimento 3				PLANO DE MÉDIO PRAZO				DATA REUNIÃO 05/03/2018				Responsável Eng. xxxxx		PERÍODO 05/03/2018 A 27/05/2018		
ATIVIDADES		RESTRIÇÃO Nº	mar/18 5 a 11	mar/18 12 a 18	mar/18 19 a 25	mar/18 26 a 1	abr/18 2 a 8	abr/18 9 a 15	abr/18 16 a 22	abr/18 23 a 29	abr/18 30 a 6	mai/18 7 a 13	mai/18 14 a 20	mai/18 21 a 27		
1																
2																
Nº	Categoria	Descrição da Restrição (Projeto, Materiais, Equipamentos, MO,	Responsável por eliminar restrição	Data limite p/ remoção da restrição atrasada, em 2 semanas, no prazo				05/03/2018 a 11/03/2018	12/03/2018 a 18/03/2018	19/03/2018 a 25/03/2018	26/03/2018 a 01/04/2018	Encaminha do à	Status (OK, NÃO)	Nova data para remoção	Obs	
1	Projeto			01/03/2018									OK			
2	Elétrica			15/03/2018					X			xxxxx				
3	Empreiteiro			02/03/2018									NÃO	16/03/2018		

(Fonte: elaborado pelo autor)

Ao final do estudo, foi feito um fluxograma simplificado do processo de planejamento e controle da produção adotado na empresa, para que eles pudessem ter um ponto de partida para padronizar os seus

processos (Apêndice C). Este fluxograma abrangeu as etapas relacionadas ao processo de planejamento e controle, e incluiu alguns pontos sugeridos ao final do estudo para auxiliar a empresa na gestão da produção. O método final de PCP baseado em zonas de trabalho, refinado neste estudo e resultado deste trabalho é apresentado mais à frente, levando em consideração todos os aspectos mencionados nesta e nas demais etapas do trabalho. Por fim, foram identificadas algumas oportunidades de estudo futuras na empresa, as quais foram incluídas no plano de trabalho da pesquisadora que assumiu o estudo, e que foram citadas nas sugestões de trabalho futuros, ao final deste trabalho.

5.3.3 Contribuições do estudo e reflexão sobre as lições aprendidas

Este estudo, diferentemente dos estudos anteriores deste trabalho, não trabalhou com a estrutura de custos vinculada ao plano. Neste ponto, houve um ganho de tempo devido a supressão de uma das etapas, anteriormente obrigatória. Além disso, confirmou-se que a tecnologia utilizada permite realizar a modelagem 3D sem a necessidade de decidir antecipadamente os lotes de produção e transferência a serem adotados, visto que a divisão do projeto em zonas de trabalho, viabiliza de forma flexível “fatiar” o modelo do empreendimento, e assim definir volumes para simular diferentes cenários com lotes de produção distintos. A definição dos lotes de produção das atividades é realizada no momento em que se define a qual nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho a tarefa está alocada. Outro ponto positivo foi a visualização do tamanho dos lotes diretamente no modelo 4D, que permitiu verificar e reportar isto de forma espacial.

Em relação a modelagem 3D, percebeu-se que o modelo desenvolvido atendeu à alguns pontos, que são importantes a serem levados em conta ao analisar um modelo para tal uso: (a) os elementos modelados suprimiram as necessidades dos intervenientes que teriam acesso ao modelo; (b) o nível de detalhe do plano foi atendido pela modelagem; (c) os LODs dos elementos do modelo estavam de acordo com as necessidades do planejamento; (d) as informações contidas nos elementos permitiu agrupá-los para facilitar a sua vinculação com as tarefas; e (e) a repetição presente no empreendimento trouxe benefícios na modelagem, visto que partes do modelo foram replicadas.

Além disso, verificou-se que as relações lógicas, discutidas no item 2.3.3 da revisão da literatura, possuem um importante papel no sequenciamento das atividades, e principalmente viabilizam definir os lotes de transferência, definir se as tarefas devem ocorrer em fluxo ininterrupto e/ou se devem ser executadas o quanto antes possível.

A partir do plano inicial, desenvolvido na forma de diagrama de Gantt, foi realizada a transcrição para a linha de fluxo. Com isso verificou-se mudanças fundamentais entre os dois planos, em que primeiramente

foi necessário agregar as atividades que acontecem em diferentes locais em tarefas que acontecem em múltiplas zonas de trabalho. Além disso, as precedências lógicas, dadas por 5 diferentes tipos discutidos no item 2.3.3 da revisão da literatura, facilitam a vinculação das diferentes tarefas e viabilizam a geração da linha de fluxo de forma automatizada. Neste caso, o modelo 4D permitiu visualizar se o sequenciamento estava correto, e auxiliou na eliminação de erros de sequenciamento.

Em relação ao plano, constatou-se que a criação de linhas de fluxo personalizadas, por meio de filtros de tarefas e zonas de trabalho, em um período em questão, pode eliminar a quantidade excessiva de informação da linha de fluxo e assim permitir que a informação fique mais transparente e fácil de ser visualizada. Da mesma forma, as simulações 4D podem ser personalizadas a fim de visualizar no modelo 4D somente os processos definidos como relevantes à análise. Neste estudo, as simulações 4D foram utilizadas em conjunto com a linha de fluxo e contribuíram para analisar as durações e predecessoras das tarefas, discutir o fluxo de trabalho e encontrar uma solução para o plano de longo prazo de forma que atendesse as restrições identificadas. Com isso, foi possível identificar erros de sequenciamento, durações inseridas de forma equivocada, *buffers*, a necessidade de sincronizar o tempo de ciclo de diferentes tarefas, a ociosidade das equipes, verificar e ajustar o ritmo de produção, verificar o impacto das decisões no prazo final da obra, verificar que mesmas atividades estariam acontecendo em diferentes locais ao mesmo tempo, verificar qual seria a solução ideal para as restrições de produção identificadas relacionadas aos recursos.

Neste trabalho também foi verificada a necessidade de quebrar a continuidade de certas tarefas, a fim de atender decisões de planejamento, como foi o caso da necessidade de diferentes frentes de trabalho trabalhando de forma simultânea, identificadas tanto no estudo empírico 1 como neste estudo. As situações em que essa quebra de continuidade dos serviços é realizada, apontadas por Kenley e Seppänen (2010), foram verificadas neste estudo, e são: (a) um local necessita diferentes recursos; (b) múltiplos locais devem possuir diferentes equipes trabalhando simultaneamente; (c) uma pausa planejada é necessária entre alguns locais; (d) certos locais necessitam relações lógicas diferentes; e (d) parte da tarefa deve ser em fluxo contínuo e parte deve acontecer o mais cedo possível.

Além disso, como exposto por Kenley e Seppänen (2010), existem boas práticas a serem adotadas para melhorar os planos, que foram utilizadas no estudo. São elas: (a) reduzir a sobreposição de tarefas, para que se tenha um planejamento mais padronizado; (b) reduzir cruzamentos entre atividades para reduzir conflitos espaciais; (c) reduzir o subaproveitamento das zonas de trabalho a fim de ter uma divisão de trabalho uniforme; (d) reduzir o acúmulo de inícios de tarefas, a fim de ter maior domínio das tarefas e para que elas sejam executadas mais continuamente; (e) reduzir pausas e recomeços para que se tenha

a duração da tarefa comprimida e reduza os fluxos das equipes dentro do canteiro de obras; e (f) adotar folgas de tempo e espaço programadas, ao invés de inserir folgas internas nas atividades.

Além disso, o modelo 4D permitiu, em conjunto com o quadro de controle, acompanhar o andamento da obra por um período, o que tornou a etapa de controle mais dinâmica e visual. As cores permitiram facilmente visualizar o status das atividades, gerando discussões mais rápidas e claras. Além disso, pôde-se observar na linha de fluxo o impacto dos atrasos das tarefas, evidenciados pelo quadro de controle, no prazo final da obra.

Na discussão realizada na apresentação final deste estudo à Empresa B, foi apontada a importância que tem o trabalho padronizado como forma de obter um fluxo de trabalho mais estável e previsível, e assim atingir ao ritmo definido no planejamento, importância essa apontada no trabalho de Bulhões, Picchi e Folch (2014) que implementou trabalho padronizado em dois casos reais. Além disso, tomando como base os trabalhos de Bulhões e Picchi (2011), que apontaram indicadores ligados a mentalidade enxuta a serem utilizados na etapa de controle de empreendimentos de construção, de Kala, Mouflard e Seppänen (2012), que utilizaram a abordagem baseada em zonas de trabalho para controlar um empreendimento hospitalar, e de Evinger *et al.* (2013), que adotou a linha de fluxo para controlar a execução dos encanamentos nas paredes, foi feita uma discussão ao final do estudo, a respeito de indicadores que teriam potencial para serem utilizados no método de PCP baseado em zonas de trabalho e BIM. Nesta discussão, foi possível identificar que com base nos dados de controle do andamento das tarefas, inseridos no quadro de controle e na linha de fluxo, era possível avaliar o desempenho do plano sob diferentes aspectos. Estas informações inseridas diziam respeito às datas de início e fim planejadas, o avanço da execução destas em termos de %, e as datas de conclusão das zonas de trabalho. A partir destas informações seria possível verificar o desvio de ritmo, o qual é visualizado na linha de fluxo pelo distanciamento do ritmo real em relação ao planejado, a aderência ao lote planejado, verificada pela identificação dos lotes executados conforme o plano, o trabalho fora de sequência, verificado na linha de balanço pela diferença de sequenciamento da situação real em comparação com a planejada, a descontinuidade das equipes, verificada pela interrupção do fluxo de trabalho na linha de fluxo, além da variação no tempo de ciclo das atividades e a verificação do trabalho em progresso.

Em relação ao indicador de terminalidade, apesar dele ter cumprido com o seu papel de mensurar a terminalidade das tarefas nas zonas de trabalho, não trouxe benefícios consideráveis para monitorar o desempenho do plano de curto prazo nas etapas iniciais de execução da obra, onde foi utilizado. No entanto, a planilha de controle utilizada para gerar tal indicador possui um grande potencial para a Empresa B ao identificar as atividades concluídas, as quais atendiam os requisitos de qualidade e

critérios de medição do órgão financiador. Deste modo, no momento de preencher a planilha de medição mensal com os itens executado, a informação já havia sido coletada.

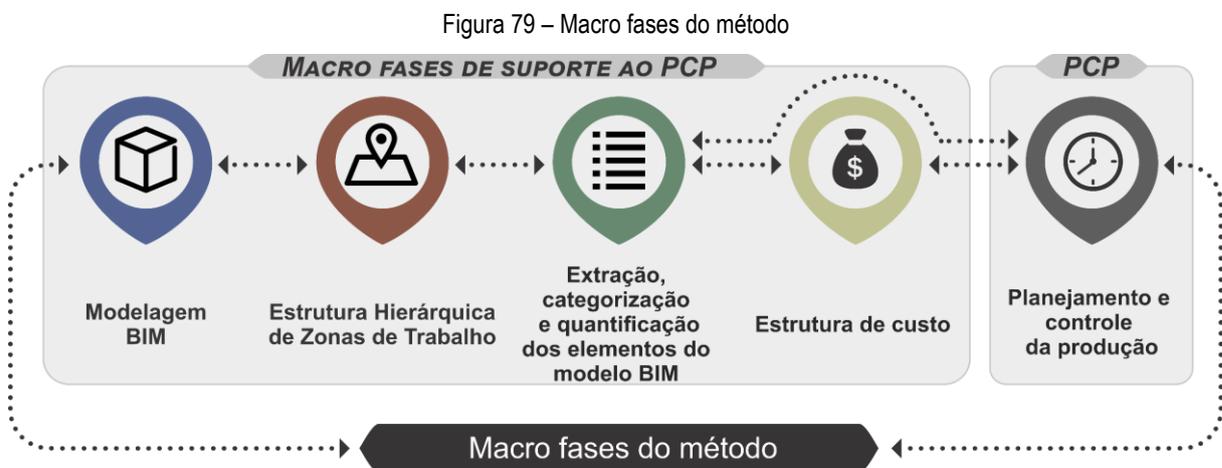
Por fim, a partir das relações observadas entre este estudo e o estudo empírico 1, foi possível compreender as relações das ferramentas utilizadas e os diferentes níveis de planejamento, parte do LPS. Primeiramente, no plano de longo prazo foi possível analisar diferentes alternativas e escolher as melhores estratégias para atender aos prazos definidos. Essas análises puderam ser realizadas a partir da linha de fluxo e das simulações 4D, as quais trouxeram os benefícios já citados neste estudo. No médio prazo, o detalhamento do plano pode ser realizado a partir da linha de fluxo, que em conjunto com o modelo e as simulações 4D permitem uma maior compreensão do projeto, do plano e dos fluxos, facilitando a identificação das restrições do projeto. No que diz respeito ao curto prazo, o plano deve ser ainda mais detalhado, a fim de definir pacotes de trabalho que devem ser atribuídos a zonas de trabalho disponíveis e à equipe responsável. Nesse ponto, o modelo 4D pode contribuir para comunicar o plano aos diferentes intervenientes, o que pode ser realizado na reunião de curto prazo por meio da manipulação do modelo ou por meio de dispositivos visuais contendo imagens extraídas do modelo 4D colocados no canteiro de obras. Portanto, além de atuar na hierarquização do planejamento, permitindo que se transforme o que deveria ser feito no que poderia ser feito (BALLARD, 2000), o LPS apresentou um grande potencial aos aspectos sociais do planejamento, onde as decisões devem ser tomadas de forma colaborativa a fim de construir os planos de forma conjunta. Desta forma, o LPS auxilia na redução da variabilidade e incerteza presentes nos fluxos de trabalho da construção, e protege a produção dos seus efeitos nocivos (HAMZEH; BALLARD; TOMMELEIN, 2012).

6 MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO E BIM

Neste capítulo é apresentado o método de PCP baseado em zonas de trabalho e BIM, desenvolvido ao longo dos estudos realizados neste trabalho, incluindo algumas diretrizes para implementação. Ao final do capítulo foi realizada a avaliação da solução, e foram apontadas as contribuições teóricas.

6.1 VISÃO GERAL DO MÉTODO

A Figura 79 apresenta as cinco macro fases do Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em Zonas de Trabalho e BIM. Estas macro fases são divididas em macro fases de suporte ao PCP, as quais contribuem com diferentes aspectos do PCP, e a macro fase principal que diz respeito ao Planejamento e Controle da Produção. Estas macro fases, além de serem integradas e interativas, ocorrem concomitantemente e foram representadas por cores distintas. A versão detalhada do método proposto é apresentada no Apêndice D e a sua versão simplificada é apresentada na Figura 80.

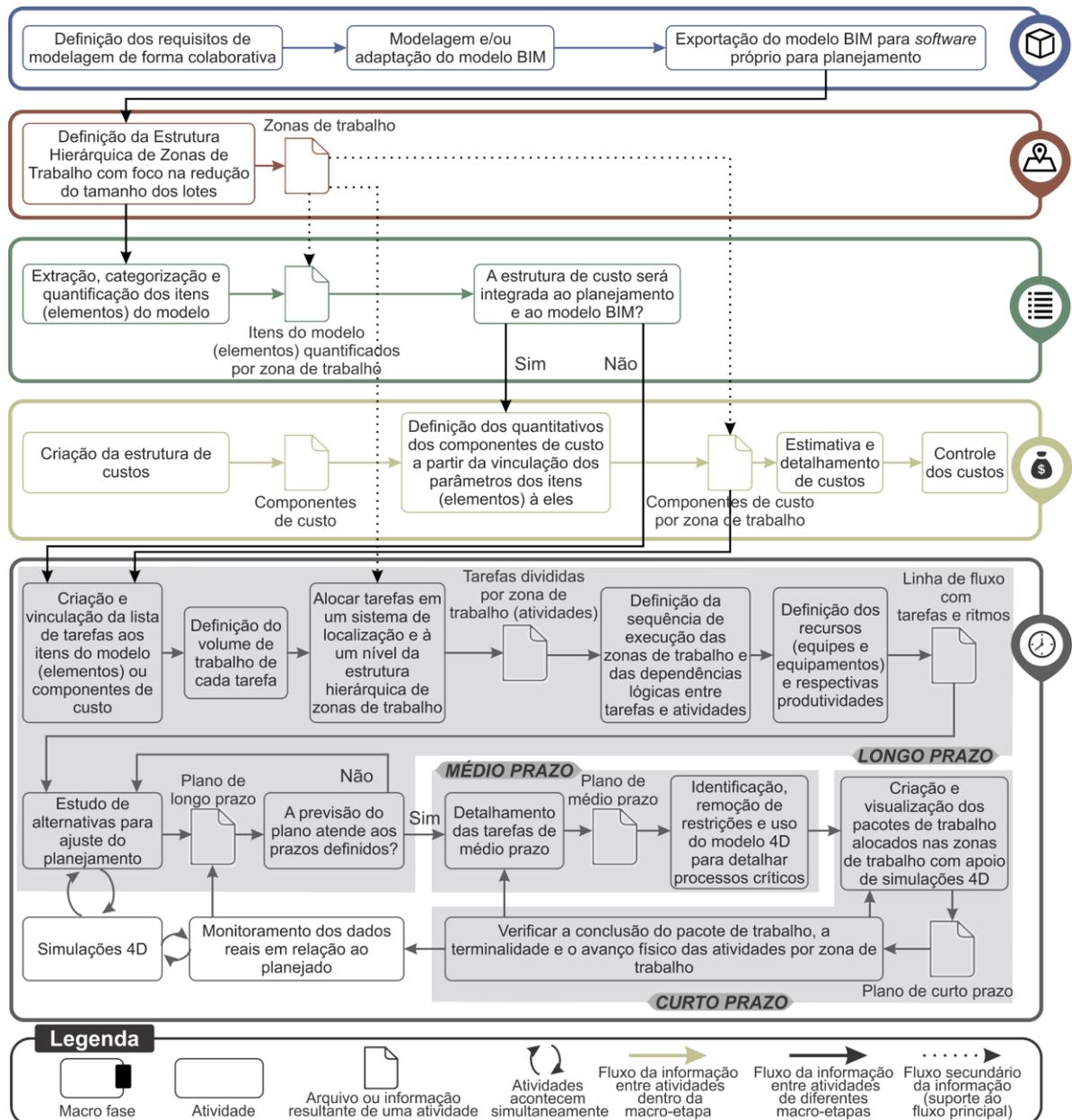


(Fonte: elaborado pelo autor)

A primeira macro fase de suporte ao PCP, Modelagem BIM, diz respeito a concepção e desenvolvimento do modelo BIM. Nesta macro fase, grande parte da informação utilizada para a gestão de custos e para o planejamento é originada. Logo, para que a informação seja confiável, a modelagem deve seguir os requisitos determinados, e os elementos devem ser modelados com um nível de desenvolvimento apropriado. Estes requisitos estão relacionados as finalidades do modelo, que são definidas a partir do uso e das necessidades dos intervenientes que terão contato com o modelo BIM, em especial às equipes de custos e planejamento. Estas equipes devem contribuir com informações a respeito dos níveis de detalhe da estrutura de custos e do planejamento necessários, e qual o tipo de informação é importante

para eles. Nesse ponto, é muito importante que as decisões relacionadas às necessidades do modelo sejam tomadas de forma colaborativa. Após identificados os requisitos de modelagem, pode-se então definir os critérios de modelagem e assim desenvolver o modelo BIM. Na situação de um modelo BIM previamente desenvolvido, este pode ser checado frente aos requisitos determinados e, caso necessário, deve ser adaptado para atender tais necessidades. Após essa etapa, o modelo BIM deve ser exportado para *software* próprio para planejamento.

Figura 80 – Versão simplificada do método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM



(Fonte: elaborado pelo autor)

A segunda macro fase de suporte ao PCP diz respeito a definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho. Esta estrutura é considerada o ponto fundamental deste método. As zonas de trabalho estão

diretamente relacionadas com a definição dos lotes de produção e transferência das tarefas. Logo, nesta macro fase é importante definir o tamanho das zonas de trabalho de forma que se permita reduzir os lotes de produção, o que permite reduzir o *lead time* dos processos, gerar um maior efeito aprendizado sobre o processo, além de facilitar a etapa de controle da produção (KOSKELA, 2000). A estrutura hierárquica é definida a partir de subdivisões sucessivas das zonas de trabalho do projeto em zonas menores, onde a cada subdivisão gera mais um nível hierárquico. Cada zona de trabalho deve ser espacialmente bem definida, permitindo que tanto os elementos do modelo BIM, como os quantitativos, custos e as atividades sejam subdivididos e alocadas nelas. A fim de entender mais a fundo esse processo e facilitar a elaboração de uma Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho foram propostas diretrizes no item 6.1.1. A definição desta estrutura pode ser realizada diretamente no modelo BIM, o que permite que os diferentes níveis e zonas de trabalho sejam espacialmente visualizados.

A terceira macro fase de suporte ao PCP está relacionada a extração, categorização e quantificação dos elementos do modelo BIM. Esta macro fase foi definida com o intuito de organizar a informação para viabilizar a integração do modelo BIM com os custos e o planejamento. Com os elementos modelados, é importante que a extração e a categorização sejam realizadas de forma criteriosa a fim de atender as necessidades da estrutura de custos e as tarefas do planejamento concomitantemente. Essa categorização diz respeito a agrupar, separar e reorganizar os elementos em itens (grupos de elementos com característica similares) para facilitar a vinculação destes aos componentes de custos e/ou às tarefas. Cada um dos itens é quantificado, e, conseqüentemente, tem os seus parâmetros definidos (volume, área, etc.). Os parâmetros dos itens, quando associados aos componentes de custo ou às tarefas do planejamento compõem os quantitativos destes. Como foi definida a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho, os parâmetros e conseqüentemente os quantitativos são subdivididos segundo os diferentes níveis definidos, atendendo assim a necessidade de obter os quantitativos por zona de trabalho definida. Foram definidas diretrizes a fim de facilitar o processo de categorização dos elementos do modelo BIM, as quais são apresentadas no item 6.1.3. A categorização dos elementos deve ser realizada diretamente no modelo BIM, permitindo verificar visualmente se os elementos foram corretamente associados a um mesmo item.

Nesse ponto do processo, é importante que se tenha definido se a estrutura de custos será integrada ao planejamento e ao modelo BIM. Caso seja realizada tal integração, a ligação entre modelo-custo-planejamento é realizada a partir da vinculação dos parâmetros dos itens do modelo aos componentes de custo e estes às tarefas do planejamento. Caso o custo não seja integrado, os parâmetros dos itens do modelo são vinculados diretamente às tarefas. Essa discussão da integração entre os custos e o planejamento é realizada no item 6.1.3.

A quarta macro fase de suporte ao PCP está relacionada aos custos. Para criar a estrutura de custos é importante que tenham sido definidos os níveis de detalhe da estrutura de custos a cada etapa de desenvolvimento do projeto, o que contribui também para definir os níveis de desenvolvimento dos elementos do modelo BIM necessários para cada etapa. Estas definições geram informações tanto para equipe que desenvolve o modelo BIM como para a equipe que estima e detalha os custos. Com os componentes de custo definidos, devem ser vinculados a estes os parâmetros dos itens do modelo. Além dos elementos, os componentes de custo também são subdivididos por zona de trabalho. Com isso é possível estimar, detalhar e controlar os custos em cada uma das zonas de trabalho.

A principal macro fase do método é a de planejamento e controle da produção, a qual é a quinta macro fase do método proposto. Para definir a lista de tarefas, é importante que tenham sido definidos os níveis de detalhe do planejamento a cada etapa de desenvolvimento do projeto. Estas definições geram informações para equipe que planeja e controla a produção e contribuem para o desenvolvimento de um modelo BIM adequado a cada etapa. Além de determinar a lista de tarefas, é importante definir os turnos de trabalho, o calendário e datas marco do projeto, como o prazo final e entregas parciais se houverem. Neste ponto, os componentes de custo são vinculados às tarefas, se ambas áreas forem integradas, ou então os parâmetros dos itens do modelo são diretamente vinculados às tarefas. Para definir o volume de trabalho (em horas) de cada uma das tarefas é necessário multiplicar o quantitativo da tarefa, o qual é definido pelo parâmetro do item associado, pelo consumo de horas para executar uma unidade de medida definida (0,5 horas/m³ por exemplo). Neste ponto, para definir valores ideais de consumo e produtividade é importante que se defina o ritmo de produção e o tempo de ciclo das tarefas de forma que se atenda aos prazos definidos. Este tempo de ciclo deve levar em consideração o *takt-time* (BULHÕES; PICCHI, 2011), ou seja, o tempo disponível para atender demanda determinada (ALVAREZ; ANTUNES JÚNIOR, 2001), além da capacidade produtiva dos recursos.

Posteriormente, devem ser definidos os lotes de produção dos diferentes serviços, que são inseridos no plano alocando as tarefas a um sistema de localização e em um nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho. Dessa forma, cada atividade estará associada a uma zona de trabalho e será representada na linha de fluxo. Nesta etapa, deve-se buscar reduzir o tamanho dos lotes, objetivando o aumento da repetitividade, do efeito aprendido e do controle logístico do canteiro de obras por parte dos gestores (VALENTE *et al.*, 2014). Esta etapa conta com o auxílio do modelo 4D, que permite verificar o tamanho dos lotes definidos. Na sequência, deve ser determinado o sequenciamento padrão das zonas de trabalho, que irá compor o eixo Y da linha de fluxo e serve como informação básica para a criação de dependências lógicas entre tarefas e atividades. O sequenciamento das zonas de trabalho deve levar em consideração os fluxos resultantes no canteiro de obras, buscando assim criar um sequenciamento

que busque reduzir as atividades de fluxo e as discontinuidades das equipes (BIOTTO, 2012). Além disso, deve-se estabelecer estas dependências lógicas entre as tarefas e atividades, as quais devem ser suportadas por um diagrama de precedência das tarefas e pelos lotes de transferência definidos. Tanto o sequenciamento das zonas de trabalho quanto a definição das dependências lógicas podem ser visualizados diretamente no modelo 4D, o que reduz a quantidade de erros de vinculação. Ainda é necessário que sejam definidos os recursos (equipes e equipamentos) e suas produtividades, as quais já devem ter sido estudados para definir os parâmetros de consumo das tarefas. Como resultado de todas as definições até agora realizadas, obtêm-se o plano de longo prazo, representado pela linha de fluxo. Na linha de fluxo, são representadas as tarefas e os respectivos ritmos de produção. Qualquer mudança no plano, deve refletir diretamente no modelo 4D e na linha de fluxo, os quais permitem verificar visualmente o impacto das decisões tomadas.

Com a linha de fluxo definida, são estudadas alternativas para refinar e ajustar o plano com o auxílio de simulações 4D. Os estudos podem ser relacionados à: (a) verificação do sequenciamento das zonas de trabalho; (b) estudo da logística e dos fluxos do canteiro de obras; (c) verificação da necessidade de ajuste da quantidade de recursos, do ritmo das tarefas e de balanceamento do tempo de ciclo das tarefas; (d) verificação de possíveis interferências e a necessidade de sobreposição da produção em mais de uma zona de trabalho; (e) verificação da necessidade de *buffers* de tempo ou de zonas de trabalho entre atividades ou tarefas; (f) verificar as tarefas que devem ocorrer em fluxo ininterrupto e tarefas que devem ter seu fluxo de trabalho interrompido. Para realizar estes estudos de alternativas para o plano com o apoio de simulações 4D, deve-se definir o que se deseja visualizar e quais informações são buscadas com a simulação. Além disso, devem ser definidos os produtos resultantes da simulação necessários, podendo ser vídeos, *snapshots* (registros instantâneos de por meio de uma imagem), ou análise do modelo 4D a partir da visualização dinâmica em tempo real. Com isso, as tarefas devem ser vinculadas a grupos 4D, a fim de gerar simulações personalizadas com apenas as tarefas relevantes e necessárias para o estudo a ser realizado. Após identificada a melhor solução, esta é adotada como o plano de longo prazo do empreendimento.

Com o plano de longo prazo definido, verifica-se novamente se o atendimento aos prazos definidos (entregas parciais e prazo final), ao fluxo de caixa e ao total efetivo da obra. Logo, define-se o horizonte de planejamento de médio prazo, o qual pode ser demarcado na linha de fluxo e detalhado em uma planilha padrão, que relaciona as tarefas que devem iniciar. Neste ponto, o plano de médio prazo puxa o detalhamento ou alteração do modelo 4D a fim de obter informações necessárias ao detalhamento de um processo crítico. Com estas informações, é possível identificar as restrições relacionadas às tarefas, que podem ter natureza relacionada ao espaço (zonas de trabalho), aos materiais, aos equipamentos,

aos métodos para executar a tarefa, aos projetos, a segurança ou a qualidade. Parte deste processo de análise de restrições pode ser passada para o ciclo de produção, como no estudo realizado por Bataglin *et al.* (2018), em que a fim de programar as cargas necessárias para o atendimento da demanda da obra, realizava a confirmação do envio dos componentes pré-fabricados com dois dias de antecedência. Ainda é importante designar responsáveis por remover as restrições identificadas.

O plano de curto prazo deve possuir um mecanismo de puxar as tarefas que deveriam ser executadas e tiveram suas restrições removidas, podendo assim definir os pacotes de trabalho que irão compor o plano de curto prazo. Este mecanismo de puxar a produção busca de forma proativa evitar a falta de recursos no que diz respeito a atividades que estão por iniciar. Desta forma esta liberação do serviço com base no status do sistema permite limitar a quantia de trabalho em progresso existente (HOPP; SPEARMAN, 2000). Estes pacotes de trabalho devem ser alocados em zonas de trabalho disponíveis e designados a equipes específicas. Neste ponto, as simulações 4D permitem acompanhar os pacotes de trabalho semanais alocados nas zonas de trabalho (LUCKO; ALVES; ANGELIM, 2014), sendo que a comunicação e dissipação dos planos de curto prazo podem ser realizadas a partir de imagens extraídas de simulações 4D.

Finalmente, deve ser verificada a conclusão dos pacotes de trabalho, a terminalidade das atividades, e o avanço físico. Essas informações servem para monitorar o plano de curto, médio prazo e o plano de longo prazo, em que se pode comparar os dados reais da produção em relação aos dados planejados. Este monitoramento pode adotar as simulações 4D para realizar uma análise visual do planejado e real executado, bem como utilizar a linha de fluxo para realizar análises mais profundas. Essas análises podem estar relacionadas a verificação do desvio de ritmo e prazo, quantidade de trabalho em progresso, variabilidade do tempo de ciclo, possíveis interferências entre atividades, descontinuidade dos serviços, atraso no começo das atividades, identificação de trabalho fora de sequência, falta de terminalidade, não conclusão dos pacotes de trabalho. Com base nestas análises, medidas corretivas podem ser tomadas a fim de que o desempenho dos planos melhore. Por fim, novamente é verificado se o plano de longo prazo ainda está atendendo aos prazos definidos e ao fluxo de caixa. Caso estes sejam atendido, as atividades continuam a ser detalhadas, caso contrário podem ser realizados novos estudos de alternativas para ajuste do planejamento a fim de atender às metas definidas.

Neste método fica explícito que a associação da abordagem baseada em zonas de trabalho com o as simulações 4D e o LPS formatam um método com grandes potenciais para estudar alternativas ao plano e monitorar o andamento da execução. Por isso as interações entre esses processos são representadas por ciclos, onde as simulações 4D ocorrem concomitantemente aos processos citados.

Ao buscar melhores alternativas para os planos e ao tentar identificar o impacto de uma decisão no fluxo de trabalho, deve-se olhar os planos sob três pontos de vista diferentes, apontadas por Sacks (2016) como uma forma de obter um bom fluxo de trabalho e reduzir o trabalho em progresso. Essas diferentes perspectivas a respeito do mesmo plano devem ser analisadas em conjunto para que uma decisão seja tomada. O primeiro ponto de vista é o do fluxo do produto, ou seja, focar na perspectiva da execução de cada uma das zonas de trabalho. Nesse quesito, podem ser analisados o subaproveitamento das zonas de trabalho e a falta de folgas entre atividades críticas presentes na zona de trabalho. Esta criticidade pode estar relacionada com limitações de recursos ou elevado número de interdependências com outros processos. O segundo ponto de vista é o do fluxo das operações, logo a análise é feita sob a perspectiva de cada um dos serviços e equipes, buscando identificar a possibilidade de que as tarefas ocorram em fluxo ininterrupto, ou a necessidade de quebrar a continuidade destas. O terceiro ponto de vista diz respeito ao fluxo entre diferentes empreendimentos em execução, sendo que a análise deve ser realizada do ponto de vista das interações entre diferentes projetos da empresa com o projeto que está sendo analisado. Logo, é importante identificar necessidades geradas ou até restrições impostas por outros projetos, que muitas vezes passam despercebidas.

Em relação ao sistema de indicadores que poderiam ser utilizados para medir o desempenho dos ciclos de controle dos planos definidos são: para o plano de longo prazo poderia ser utilizado o desvio de ritmo de produção, a aderência ao lote de produção, o trabalho em progresso, a variabilidade do tempo de ciclo e a aderência ao sequenciamento planejado. Em relação ao plano de médio prazo, poderia ser utilizado o Índice de Remoção de Restrições (IRR), e para o plano de curto prazo poderiam ser utilizados o Percentual de Pacotes Concluídos (PPC), a terminalidade das atividades.

A partir dos dados de controle da produção, em que são monitoradas as datas de início e término planejadas e reais dos lotes definidos, é possível extrair estes indicadores para medir o desempenho dos planos. Estes dados podem ser utilizados para verificar o desvio de ritmo da produção, a fim de identificar o quanto a execução está se distanciando do planejado, controlar o trabalho em progresso, a fim de buscar reduzi-lo, verificar a interrupção do fluxo de trabalho, a variabilidade no tempo de ciclo em cada zona de trabalho e a aderência ao lote planejado (Bulhões, 2009). Além destes, pode-se verificar o trabalho fora de sequência, a fim de buscar reduzir as atividades de fluxo,

6.1.1 Diretrizes para definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho

No que diz respeito ao método, uma das decisões que é realizada em estágios iniciais, que antecede o desenvolvimento do plano e da estrutura de custos, é a definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho. Esta etapa acaba sendo uma limitação do software utilizado. Esta definição inicial gera a

necessidade de obtenção de informações a respeito da produção em uma etapa de elevada incerteza e antes mesmo das decisões de planejamento e orçamentação. Entretanto, isso força as equipes a pensarem na execução do empreendimento antes mesmo de serem realizadas todas essas decisões.

Apesar da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho ser flexível e possível de ser modificada ao longo da execução, é importante que se analise, antes mesmo da execução, as possíveis divisões e a hierarquia que melhor atende às necessidades da produção do empreendimento. A necessidade de modificações em níveis fundamentais da hierarquia de zonas de trabalho poderia implicar em retrabalho. Salienta-se que uma zona de trabalho deve ser espacialmente bem definida, ser pequena o suficiente para remover os *buffers* implícitos, ser a mais genérica possível, de forma a atender às tarefas de uma mesma etapa da obra, e atender aos lotes de produção e transferência definidos. De forma a auxiliar a estas práticas, foram propostas diretrizes para definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho:

a) ***Qual é a tipologia e a compartimentação do empreendimento?***

A tipologia pode sugerir uma divisão da estrutura hierárquica, como por exemplo, nos empreendimentos verticais (ex.: prédio residencial) pode-se dividir cada uma das zonas de trabalho em função dos andares, que poderiam compor o primeiro nível hierárquico. O segundo nível poderia ser dividido em função dos limites de cada um dos apartamento e áreas comuns. Por outro lado, em empreendimentos horizontais (ex.: condomínio de casas), pode-se definir que em um primeiro nível, as zonas de trabalho são compostas de um conjunto de casas, em um segundo nível, de cada uma das casas, e em um terceiro nível dos andares de cada uma das casas. Além disso, a compartimentação dos espaços também pode sugerir uma divisão para as zonas de trabalho, onde cada zona de trabalho pode ser definida segundo os limites físicos do espaço.

b) ***Quais as soluções construtivas utilizadas no empreendimento?***

As soluções construtivas impõem restrições no modo de execução de determinadas tarefas, trazendo implicações diretamente na definição das zonas de trabalho.

c) ***Qual é o grau de repetição que o empreendimento apresenta?***

Na situação de uma repetição explícita (ex.: condomínio de casas iguais), as zonas de trabalho podem ser definidas em função destas unidades repetitivas. No caso de não haver repetitividade, ainda pode-se analisar quais são os possíveis gargalos da produção e subdividir as zonas de trabalho em função destes, dividindo grandes áreas em volumes de trabalho semelhantes.

d) ***Quais tarefas podem utilizar uma mesma divisão de zonas de trabalho?***

Como a estrutura hierárquica de zonas de trabalho definida deve ser aplicável a grande maioria dos serviços de uma mesma etapa da obra, deve-se defini-la em função destas tarefas, e caso seja necessário, criar outros sistemas de localização para que os serviços restantes possam ser alocados. Não é viável gerar um plano no qual cada tarefa necessite de uma divisão da estrutura de forma diferente, mas o que pode ser realizado sem problema algum é vincular as tarefas a diferentes níveis da estrutura hierárquica, fazendo com que as subdivisões sucessivas das zonas de trabalho atendam as diversas tarefas.

e) ***Como são realizadas as medições dos subempreiteiros e órgãos financiadores?***

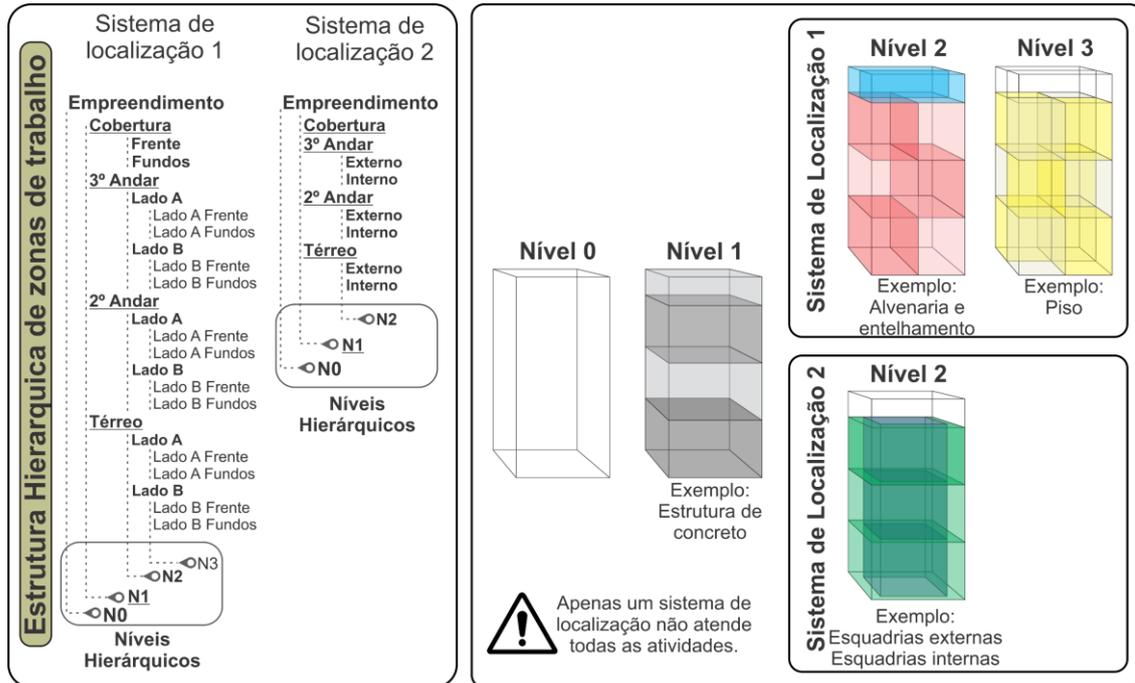
As unidades de medição (tais como, casa, andar ou ambiente) podem sugerir uma subdivisão para a estrutura hierárquica de zonas de trabalho.

f) ***A empresa vai integrar o controle de qualidade ao controle da produção?***

Se a resposta for positiva, o tamanho da zona de trabalho pode também levar em conta o tamanho do lote de verificação/inspeção da qualidade. A zona de trabalho deve possuir tamanho adequado para que seja possível de executar a tarefa e inspecioná-la no horizonte de planejamento definido.

Os sistemas de localização, mencionados no item d) e inicialmente explicados no item 2.3.1, enquadram-se em situações que uma estrutura hierárquica de zonas de trabalho não atende todas as atividades. A hierarquia de zonas de trabalho é composta por diferentes níveis, sendo que uma zona de trabalho necessariamente deve pertencer a um deles. A cada nível hierárquico inferior, a zona de trabalho pode ser subdividida em zonas de trabalho menores a fim de atender as diferentes necessidades da produção. Na situação de um destes níveis não atender as diferentes tarefas, criam-se diferentes sistemas de localização, que fornecem subdivisões distintas a partir do nível da estrutura em questão. Com o intuito de esquematizar estas relações, foi criada a Figura 81 contendo um exemplo hipotético de um empreendimento de três andares e cobertura. No exemplo, pode ser verificado que o nível 0 diz respeito ao empreendimento como um todo, o nível 1 se refere a cada um dos pavimentos, e a partir deste nível foram criados dois diferentes sistemas de localização, visto que apenas uma estrutura hierárquica de zonas de trabalho não supria as necessidades da produção. Logo, o sistema de localização 1 subdividiu no nível dois cada andar em lado A e lado B, e em um terceiro nível ainda subdividiu cada um destes em frente e fundos. Já o sistema de localização 2, subdividiu cada um dos andares em interno e externo.

Figura 81 – Relações entre Hierarquia de zonas de trabalho, zonas de trabalho, sistemas de localização e níveis hierárquicos.



(Fonte: elaborado pelo autor)

Em relação aos lotes de produção, estes são definidos a partir da vinculação de uma determinada tarefa a um nível da estrutura hierárquica de zonas de trabalho, e como resultado, o tamanho do lote é o mesmo da zona de trabalho da estrutura hierárquica. Já os lotes de transferência, são definidos no plano a partir das predecessoras, sendo que as relações lógicas somente podem ser vinculadas a um nível da estrutura hierárquica mais alto ou igual ao lote de produção definido, e isso consequentemente reflete no tamanho do lote de transferência. Estas relações são apresentadas na Figura 82. Logo, percebe-se que o tamanho da zona de trabalho é o que permite definir o tamanho dos lotes de produção e transferência, de acordo com os níveis da estrutura hierárquica em questão.

Figura 82 – Relação entre o tamanho da zona de trabalho, do lote de produção e do lote de transferência

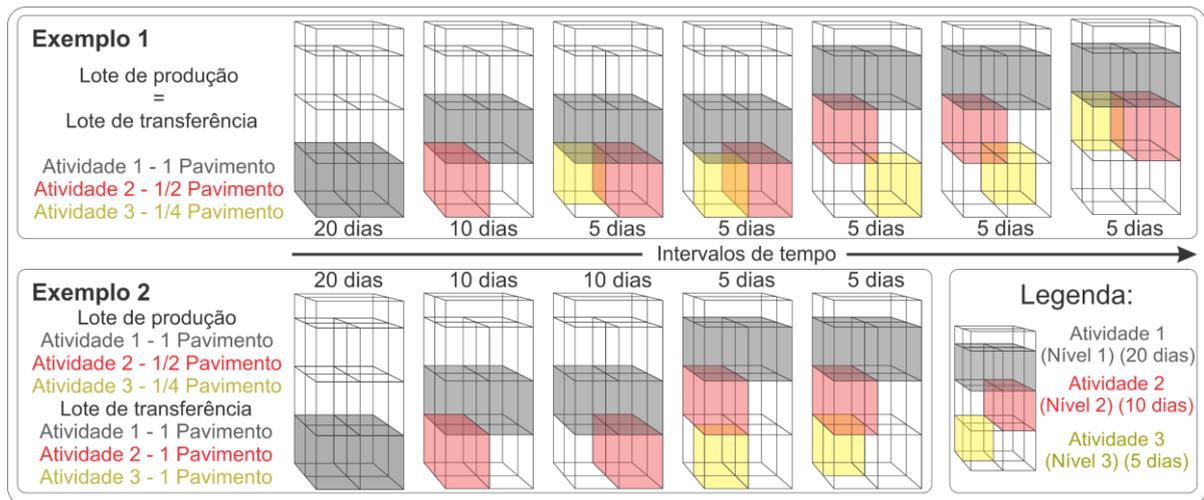
$$\text{Tamanho da zona de trabalho} = \text{Tamanho do lote de produção} \leq \text{Tamanho do lote de transferência}$$

(Fonte: elaborado pelo autor)

A fim de elucidar as relações entre estes três conceitos apresentados, é apresentada a Figura 83 com dois exemplos distintos, que apresentam o sequenciamento de três atividades ao longo do tempo. Neste exemplo, todas as tarefas acontecem em fluxo ininterrupto e foram alocadas no sistema de localização 1, representado na Figura 81. Entretanto, não há um fluxo contínuo na execução das zonas de trabalho, visto que as tarefas foram alocadas a níveis diferentes e consequentemente possuem lotes de produção

de tamanhos distintos. A atividade 1 foi alocada no primeiro nível hierárquico e possui uma duração de 20 dias, a atividade 2 foi alocada no segundo nível e possui duração de 10 dias, e a atividade 3 foi alocada no terceiro nível e possui uma duração de 5 dias. Os lotes de transferência são iguais aos lotes de produção no exemplo 1 e iguais a um pavimento no exemplo 2.

Figura 83 – Dois exemplos das relações entre lotes de produção, transferência e zonas de trabalho



(Fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2 Diretrizes para categorização dos elementos do modelo BIM

A finalidade da categorização dos elementos do modelo BIM é agrupá-los em itens com características similares, a fim de prepará-los para a vinculação do modelo BIM aos componentes de custo e tarefas de planejamento. A categorização em itens, se bem realizada, facilita esta vinculação. Entretanto, em função do caráter dinâmico dos processos de gestão da produção, podem surgir necessidades de recategorização de alguns itens para atender essas novas necessidades do planejamento e da estrutura de custos. Logo, para definir estes itens deve-se sempre ter em mente que o foco é atender tanto a estrutura de custo como as tarefas do planejamento. De forma a auxiliar a estas práticas, foram propostas diretrizes para auxiliar na categorização dos elementos do modelo BIM:

a) **Quais são as necessidades do plano e da estrutura de custos?**

As necessidades do plano estão diretamente relacionadas com o grau de detalhamento das tarefas e atividades, e as necessidades da estrutura de custos estão diretamente relacionadas com o grau de detalhamento dos componentes de custo.

b) **Qual é o grau de agregação necessário ao item de forma que ele atenda tanto ao plano quanto à estrutura de custos?**

O grau de agregação neste contexto diz respeito ao grau de agrupamento dos elementos do modelo, sendo que um grau de agregação maior incorpora uma quantidade maior de elementos. De uma forma geral, quanto maior for o detalhamento, menor será ser o grau de agregação.

c) **Quais parâmetros facilitarão o agrupamento dos elementos do modelo em itens?**

Estes parâmetros podem ser as tipologias dos elementos (pilares, vigas, etc.), materiais (gesso, alvenaria, vidro, etc.), zonas de trabalho (pavimento térreo) e as camadas (*layers*) utilizadas na modelagem 3D. Além disso, pode-se combinar diferentes parâmetros, como por exemplo a tipologia dos elementos e os materiais (paredes de gesso, janela de alumínio) a fim de categorizar os itens de acordo com as necessidades identificadas.

6.1.3 Discussão sobre a integração entre o modelo BIM, o custo e o planejamento

As relações modelo-custo-planejamento são iterativas e não lineares. A Figura 84 representa estas relações, as quais dizem respeito aos elementos do modelo BIM, componentes de custo e às tarefas do plano. Percebe-se que esta tentativa de integração entre as áreas traz uma série de dificuldades, visto que em uma situação real, há complexidade associada a essa vinculação. Essa dificuldade é relacionada a natureza distinta das tarefas do planejamento e dos componentes de custo, em que muitas vezes há uma falta de integração entre ambas as áreas ou até mesmo há a segregação das equipes da empresa, sendo o orçamento conduzido de forma independente do planejamento. Em um contraponto, ao integrar estes setores pelo uso de BIM, deve-se discutir e chegar a um consenso das necessidades de modelagem que atendem ambas, para assim desenvolver seu trabalho de forma colaborativa e reportar tais necessidades aos responsáveis pelo desenvolvimento do modelo BIM. É importante ressaltar que uma tarefa do planejamento pode conter um ou mais componentes de custo, entretanto no *software* utilizado o contrário não é válido. Isso é consequência da integração entre o custo e o planejamento, a fim de que ao ser concluída uma tarefa, ela reflita tanto no avanço físico como no avanço financeiro.

A fim de elucidar e exemplificar a necessidade de níveis compatíveis entre essas três áreas, foi feita a Figura 85, que representa duas situações hipotéticas da interação entre estas três áreas. Na primeira situação, a equipe de planejamento identifica a necessidade de simular todas as etapas da execução de uma parede (alvenaria, chapisco, emboço, reboco) e discute com a equipe de custos, que verifica que tal nível de detalhe também supre as necessidades da estrutura de custos. Então a informação é passada à equipe que irá desenvolver o modelo BIM, para que a parede seja modelada em uma combinação de paredes de tipologia simples, e depois possam ser atribuídos aos componentes de custo e esses às

tarefas do planejamento. Como resultado, se obtém o planejamento e a simulação 4D de todas as subtarefas que compõem a execução da parede.

Figura 84 – Compatibilidade entre o nível de detalhe do modelo BIM, da estrutura de custos e do planejamento



(Fonte: elaborado pelo autor)

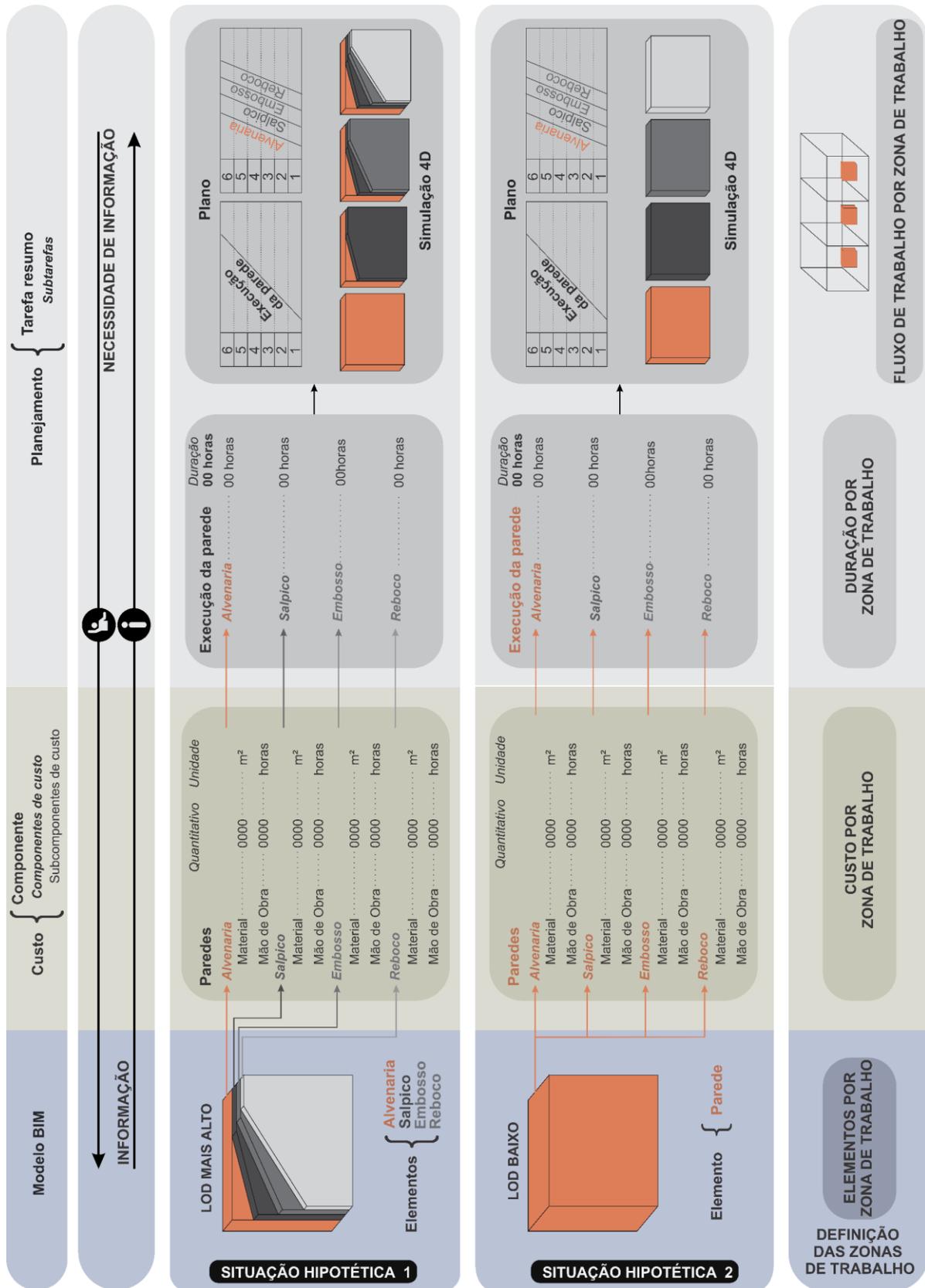
Em uma segunda situação hipotética, a equipe de planejamento define as tarefas para execução da parede, mas não considera necessário realizar a simulação 4D das diferentes etapas que envolvem a execução das paredes (subtarefas). A equipe de gestão de custos verifica que mesmo assim consegue definir os quantitativos a partir da quantificação dos diferentes parâmetros dos elementos, e aceita que o modelo seja feito com um nível de desenvolvimento mais baixo. Essa informação é passada à equipe que desenvolve o modelo, a qual modela as paredes com uma única de tipologia simples. Então, os parâmetros dos elementos são vinculados aos diferentes componentes de custo e esses às tarefas para obter o planejamento e visualizar a simulação 4D. Nessa situação, todas as tarefas são representadas por um mesmo elemento na simulação 4D, com apenas uma diferença de coloração em cada uma das tarefas (Figura 85).

Por fim, na Figura 85, é possível verificar que o fluxo da informação relacionado às necessidades de informação segue uma direção contrária ao fluxo principal da informação. Além disso, a definição das zonas de trabalho em etapas iniciais, permite que se tenha informações a respeito dos elementos, quantitativos, custos e durações por zona de trabalho.

6.2 AVALIAÇÃO FINAL DA SOLUÇÃO

Com base nos constructos de utilidade e facilidade de uso do método, definidos no item 4.4, foi realizada a avaliação da solução proposta.

Figura 85 – Nível de desenvolvimento do modelo e o fluxo de informação



(Fonte: elaborado pelo autor)

6.2.1 Utilidade

A avaliação do método quanto a utilidade foi organizada e realizada segundo cinco constructos definidos na Figura 27 do capítulo de método deste trabalho. Em relação ao uso das informações do planejamento e das simulações 4D para a tomada de decisão, sob a percepção do pesquisador, a adoção da linha de fluxo em conjunto com as simulações 4D, permitiram aumentar substancialmente o entendimento dos projetos e a clareza da informação, tanto por parte do pesquisador como dos demais envolvidos. Enquanto as simulações 4D permitiram identificar visualmente o sequenciamento das tarefas, evidenciando o desbalanceamento dos serviços e equipes, a linha de fluxo permitiu uma análise mais profunda e técnica a respeito dos ritmos, folgas de tempo e espaço, possíveis interferências, atrasos e do fluxo de trabalho. As informações disponíveis, relacionadas ao plano e ao produto das simulações 4D, serviram para tomar decisões sobre assuntos relacionados a quantidade de equipes necessárias, melhores estratégias para a produção, as implicações de uma mudança no plano nas demais tarefas e o impacto no prazo final do empreendimento. Estas análises impactaram diretamente nas decisões do engenheiro responsável pelo Empreendimento E1.

Em relação se a metodologia trouxe flexibilidade na tomada de decisão, o método utilizado permitiu atender as solicitações de modificação do plano e as análises de diferentes alternativas. Isso se deve ao fato de as tarefas terem vínculos lógicos segundo *layers* de lógica, o que permitiu reduzir substancialmente a quantidade de relações de precedência necessários para obtenção do plano em comparação com o método CPM. Conseqüentemente, isso facilitou a modificação do plano quando necessário e permitiu simular uma maior quantidade de alternativas em um tempo relativamente curto. Além disso, ao trabalhar com um *software* que possui um banco de dados integrado entre as diferentes macro fases determinadas no método, foi possível ajustar determinados parâmetros e verificar os seus impactos automaticamente. Para exemplificar, ao ajustar o ritmo de uma tarefa, por meio da mudança de sua inclinação na linha de fluxo, pôde-se observar o impacto nas demais tarefas, o que refletiu nos dados quantitativos da tarefa e no restante do plano.

Outra avaliação foi em relação se o método estimula a um ambiente mais colaborativo e se contribui para o aumento da transparência. Ao longo das reuniões de planejamento e de controle da produção, o pesquisador observou que as informações representadas na linha de fluxo e nas simulações 4D serviam como fonte de informação para as discussões. Isso estava fortemente ligado ao aumento da transparência da informação gerado por estes produtos do método, que eram altamente visuais. O uso destes dispositivos trouxe mais clareza do que estava sendo discutindo nas reuniões e os envolvidos puderam embasar algumas de suas observações nestes dados. Apesar da linha de fluxo ter um grande

potencial para um painel de gestão visual, precisou-se ter atenção para que as informações não ficassem sobrepostas e comprometessem a transparência da informação. Com isso, ao longo dos estudos foram filtradas as informações para visualizar somente o que era necessário. Em relação a divulgação dos planos, a linha de fluxo e as simulações 4D foram mais utilizadas para discussões em um nível estratégico do que em um nível operacional. Isto ocorreu devido a participação do pesquisador ser em etapas iniciais de execução do empreendimento, onde poucas tarefas estavam acontecendo e não foram criados quadros de gestão a vista com tais simulações. Entretanto, nas reuniões de curto prazo foi evidenciado o potencial que teria de utilizar *snapshots* do modelo 4D para divulgar o plano e comparar o planejado ao executado, entretanto isto não foi efetivamente implementado.

Em relação se o método gera um efeito de aprendizado no PCP, ao controlar a produção do Empreendimento E1 por um período de 15 semanas, foi possível verificar que as informações reais serviram para alimentar os planos e serviram como aprendizado para a execução das zonas de trabalho e torres subsequentes. Um exemplo deste efeito aprendido, observado no estudo empírico 2, é relacionado ao tempo de ciclo das alvenarias e lajes, que após balanceadas as tarefas, foi definido em 12 dias. Entretanto, no decorrer da execução conseguiu-se reduzir o tempo destes ciclos para 10 dias, e isso permitiu que para os próximos andares e torres essa informação fosse considerada. Além disso, o fato de utilizar uma linha para representação das tarefas no plano, permite inserir informações a respeito do planejado-real-previsto, que além de fornecer informação para a tomada de decisão, permite aprender com o andamento de cada tarefa, entendendo mais a fundo a variabilidade e a incerteza presente nas tarefas.

Em relação ao sistema de indicadores de qualidade, foram utilizados o PPC, o IRR e o indicador de terminalidade. A implementação de indicadores foi bastante limitada para medir o desempenho de tais planos, logo nenhuma conclusão foi obtida do impacto das implementações em tais indicadores. Em relação ao indicador de terminalidade, não foi possível tirar conclusões da sua eficácia, visto que os dados coletados foram em etapas iniciais da obra, e os dados não contribuíram com a avaliação do desempenho do plano. Logo, apesar do indicador ter um potencial para evidenciar a falta de terminalidade e problemas relacionados às zonas de trabalho, ele precisa ser aplicado em etapas mais avançadas de execução, onde se tenha diversos serviços acontecendo e onde o ritmo de obra esteja mais acelerado. Desta forma a sua utilidade poderá ser melhor avaliada.

6.2.2 Facilidade de uso

A avaliação do método quanto a facilidade de uso foi organizada e realizada segundo cinco constructos definidos na Figura 28 do capítulo de método deste trabalho. Em relação a compreensão das práticas,

princípios e conceitos fundamentais da metodologia utilizada e o entendimento das decisões tomadas ao longo dos estudos, percebeu-se que os conceitos de zonas de trabalho, ritmo de produção, tamanhos de lote de produção e transferência, fluxo contínuo e ininterrupto foram utilizados amplamente durante as discussões com os engenheiros envolvidos no planejamento. Isto se deve primeiramente ao fato de que parte dos envolvidos possuíam conhecimento técnico na área de planejamento de obras com base na abordagem da produção enxuta, e também pelo fato das simulações e planos permitirem aumentar o domínio dos envolvidos sobre o assunto, visto que os conceitos podiam ser visualizados. A compreensão dos conceitos foi percebida ao longo do tempo, em que as discussões a respeito dos planos foram cada vez mais sendo aprofundadas. Um exemplo é a solicitação do engenheiro do estudo empírico 2 para simular o impacto de determinadas tarefas acontecerem em fluxo ininterrupto. Além disso, a tomada de decisão foi fundamentada e embasada nesses conceitos, em que se buscou melhorar o fluxo de trabalho e dar ênfase à continuidade das equipes enquanto buscava-se atender aos prazos.

O esforço realizado na modelagem e no desenvolvimento do planejamento, pôde ser avaliado segundo a percepção do pesquisador e da bolsista que auxiliou na modelagem do Empreendimento E1. Em um primeiro momento foram contabilizadas as horas dispendidas, mas como estes processos foram bastante interativos, perdeu-se a razão de realizar tal acompanhamento. O esforço para desenvolvimento do modelo depende primeiramente do grau de conhecimento de quem desenvolve o modelo nesse assunto. O ponto mais crítico, na visão do pesquisador e que traz certa complexidade, é desenvolver o modelo para a finalidade específica de planejar e controlar a execução do empreendimento. Nesse ponto, a dificuldade encontra-se em captar as necessidades do cliente, identificando quais partes do modelo ou quais elementos e tarefas são mais críticas e precisam de um detalhamento maior para obter informações para planejar o empreendimento realizar simulações 4D.

Em relação ao esforço para desenvolver o planejamento, existem certas etapas que demandaram de um conhecimento técnico mais profundo, como é o caso dos vínculos lógicos entre as tarefas, que trazem por trás todos os conceitos e práticas fundamentais apontadas na revisão de literatura deste trabalho. Logo, ao utilizar tal metodologia deve-se ter este embasamento. Um ganho de produtividade foi verificado na etapa de controle, em que o esforço para alterar e simular diferentes planos foi menor quando comparado a etapa de desenvolvimento do planejamento.

Por fim, em relação a aplicabilidade em diferentes contextos, constatou-se que o método tem potencial em empreendimentos que apresentam uma considerável repetitividade. Nesses casos, se tem ganhos de produtividade tanto na modelagem BIM quanto no desenvolvimento do planejamento e depois no controle. Apesar de ter sido proposto que o método pode ser aplicado em empreendimentos com uma

menor repetitividade, seria necessário testar a solução para poder afirmar, além de testar em contextos diferentes destes, em que por exemplo se trabalhe com empreendimentos sem unidades repetitivas.

6.3 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS

No início deste trabalho foi apresentada uma visão que divide os métodos de Planejamento e Controle da Produção duas diferentes abordagens: uma baseada em zonas de trabalho (locais) e outra baseada em atividades (KENLEY; SEPPÄNEN, 2009). Esta divisão foi utilizada em alguns trabalhos, entretanto nesta pesquisa ficou evidente que essa divisão é simplista e limitada. Esta conclusão surgiu ao tentar enquadrar o método proposto em uma delas. Em uma primeira análise, como o método baseado em zonas de trabalho usa os locais como informação básica para planejar, subentendia-se que se enquadraria em uma abordagem baseada em locais. Entretanto, percebeu-se que apesar do método dar ênfase na alocação da porção do trabalho em uma zona de trabalho, dando ênfase neste caso aos locais, as atividades também servem como informação básica para o plano. Logo, nesta abordagem baseada em zonas de trabalho deve-se utilizar tanto a perspectiva das atividades como a dos locais para realizar análises do plano. Do ponto de vista dos processos, as melhorias focam-se nas zonas de trabalho (locais) e do ponto de vista das operações, o foco das melhorias acaba voltando-se às atividades desempenhadas pelos recursos.

Ao analisar as necessidades geradas pela integração entre o custo e o planejamento, percebeu-se que tanto a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) quanto a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho são meios para estruturar a informação do empreendimento a fim de viabilizar tal integração. A estruturação de ambas acontece de um modo *top-down*, em que a informação é detalhada em níveis sucessivamente. Em relação a EAP, o detalhamento das atividades ocorre a partir da hierarquização do planejamento, sendo que quanto mais perto se chega da execução da atividade, mais as atividades são detalhadas. Em um contraponto, a Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho deve ser detalhada em estágios iniciais de planejamento, aceitando que subdivisões sejam feitas ao longo do tempo.

Em relação ao método, percebe-se que ele apresenta elementos de decisão, melhoria e comunicação tanto da abordagem *top-down* como da abordagem *bottom-up*. Nesse sentido, o método envolve decisões que partem de setores mais estratégicos, os quais, além de estruturar os processos e buscar o atendimento dos prazos e fluxos de caixa, devem definir como realizar a integração dos diferentes setores da empresa. Os setores operacionais por outro lado precisam identificar maneiras de atender às decisões tomadas e obter um fluxo de trabalho adequado. No método proposto nota-se a necessidade de envolvimento entre o setor estratégico e o setor operacional a fim de que tanto o desenvolvimento do

modelo BIM, como a definição do plano e a definição da estrutura de custos sejam construídos de forma colaborativa. Assim cada envolvido no processo pode contribuir com suas necessidades e as decisões acabam sendo mais abrangentes e apropriadas.

Em projetos que há uma considerável variabilidade, costuma-se deixar folgas (*buffers*). No método proposto, as folgas inseridas podem ser de tempo ou espaço e estão diretamente relacionadas a criticidade da tarefa ou atividade. As folgas programadas são inseridas entre atividades ou tarefas para absorver a variação da duração das atividades e atrasos na disponibilização de recursos. Por outro lado, a folga implícita, diz respeito a uma folga de tempo interna deixada em uma tarefa ou atividade. Essa folga não fica explícita, não sendo possível identificar o tempo mais provável de execução da tarefa e nem a folga deixada, tornando o cronograma ainda mais complexo. Já a defasagem diz respeito a uma duração fixa necessária de conexão entre duas atividades ou tarefas e está relacionada a uma restrição, muitas vezes física, imposta por uma tarefa (tempo de cura do concreto por exemplo). Na Figura 86 são apresentadas as novas conceptualizações realizadas dos constructos adaptados e utilizados nesta pesquisa.

Ainda, foi feito elaborado um mapa conceitual, apresentado na Figura 87, com o intuito de explicitar as principais relações entre os conceitos abordados neste trabalho, tendo por base a revisão bibliográfica e também os conceitos utilizados ao longo dos estudos empíricos. Logo, as contribuições abaixo descritas, estão no âmbito das ligações entre os conceitos adotados nesta pesquisa de uma perspectiva operacional.

Figura 86 – Principais definições dos conceitos adotados no trabalho

Constructos	Adaptação do conceito existente	Nova conceptualização
Zonas de trabalho	<i>Location</i> (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)	Zona de trabalho é uma unidade, espacialmente bem definida, utilizada para definir os lotes de produção e transferência, utilizados para planejar, analisar e controlar a porção do trabalho a ser executada.
Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho	<i>Location Breakdown Structure (LBS)</i> (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)	A Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho é resultado da decomposição sucessiva do projeto em níveis hierárquicos, em que um nível superior inclui todas as zonas de trabalho de um nível inferior.
Sistemas de localização	<i>Location Systems</i> (VICO, 2016)	Sistemas de localização são meios alternativos para alocar porções de trabalho de diferentes tarefas que não são atendidas por uma única estrutura hierárquica de zonas de trabalho
Linha de fluxo	<i>Flowline</i> (MOHR, 1979)	A Linha de fluxo é uma forma de representação do plano, em que as tarefas são subdivididas e alocadas em diferentes zonas de trabalho, e visualizadas por meio linhas inclinadas, que representam os ritmos de produção e permitem visualizar o fluxo de trabalho.

(Fonte: elaborado pelo autor)

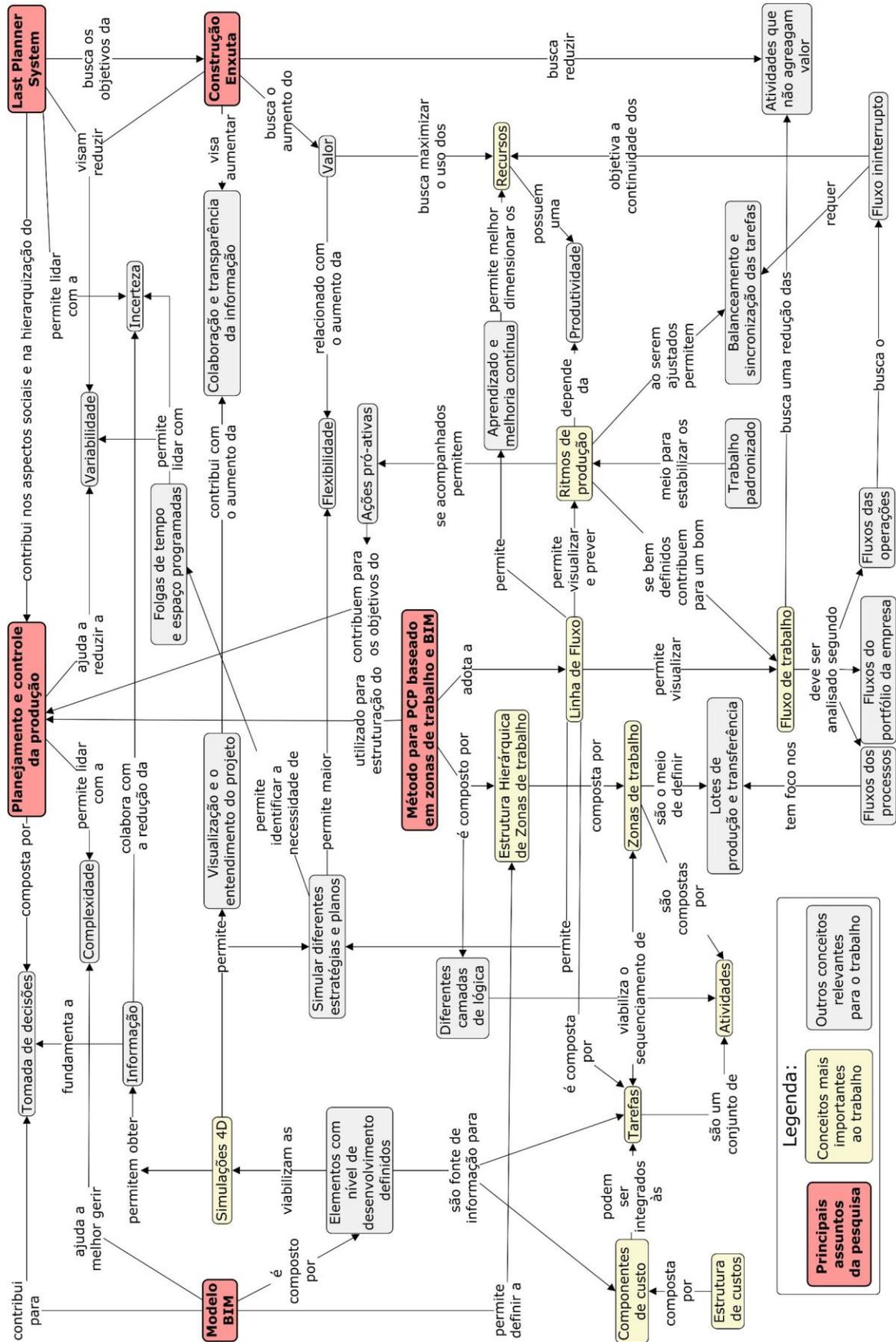
Neste mapa é possível identificar o papel que tem a abordagem baseada em zonas de trabalho, o LPS e o BIM no planejamento e controle da produção. Percebeu-se que o LPS contribui tanto nos aspectos sociais, de comprometimento, como na hierarquização do planejamento, fazendo com que ele seja uma eficaz ferramenta de controle da produção para lidar com a variabilidade e a incerteza presente. O LPS ainda se beneficia do modelo BIM, a partir da extração das informações pertinentes a respeito das tarefas e da configuração espacial do projeto, e se beneficia da abordagem baseada em zonas de trabalho, que busca obter um bom fluxo do produto e das operações a partir da alocação dos serviços ao longo das zonas de trabalho.

O BIM foca nos aspectos relacionados ao fornecimento de informação, quantitativa e qualitativa, a partir da inserção desta nos elementos desenvolvidos adequadamente para uma finalidade esperada. As simulações 4D desenvolvidas fornecem informações visuais a respeito do produto e das operações, para uma tomada de decisão fundamentada a respeito do planejamento. O planejamento e controle da produção busca lidar com a complexidade de projetos de construção a partir da estruturação dos mesmos. A abordagem baseada em zonas de trabalho, adotada no método desenvolvido, tem este papel de estruturação do PCP. O planejamento pode ser estruturado de tal forma que as tarefas podem ser integradas aos componentes de custo, que são parte da estrutura de custos. Essa integração permite que a tomada de decisão a respeito do planejamento leve em consideração aspectos relacionados a distribuição dos custos ao longo do tempo e os impactos das decisões tomadas. Como fonte de informação, os elementos contidos no modelo BIM contêm informações (parâmetros geométricos, quantitativos) que servem de insumo para os componentes de custo e tarefas.

Em relação as tarefas, atividades e zonas de trabalho, estes são sequenciados segundo diferentes tipos de lógicas, que permitem estruturar o planejamento e obter a linha de fluxo. Nessa forma de representação das tarefas é possível visualizar tanto os ritmos de produção como o fluxo de trabalho. A fim de obter um bom fluxo de trabalho, é importante analisar os planos segundo o fluxo dos processos, do portfólio da empresa e das operações. Na linha de fluxo, é possível verificar o ritmo de produção das tarefas, o qual pode ser ajustado de forma a permitir sincronizar as tarefas e obter um fluxo contínuo. Além disso, pela sua representação ser em forma de linha, ela permite que sejam inseridas informações a respeito do planejado-executado em paralelo, permitindo um aprendizado ao longo do tempo e um melhor dimensionamento dos recursos. Além disso, estas informações permitem a detecção de desvios de ritmo e possibilita que se aja de forma proativa, contribuindo na etapa de controle da produção. Por fim, percebeu-se que o trabalho padronizado é um meio de atingir os ritmos de produção planejados, de forma que estes sejam mais estáveis na prática.

A partir das sinergias entre *Lean* e BIM definidas no item 3.3, dos estudos realizados, do método proposto e das relações entre os conceitos estabelecidas no mapa conceitual, foi possível estabelecer as relações entre os objetivos do *Lean* e como o método de PCP baseado em zonas de trabalho e BIM pode contribuir para atingir tal objetivo. Estas relações foram apresentadas e discutidas na Figura 88.

Figura 87 – Mapa conceitual



(Fonte: elaborado pelo autor)

Figura 88 – Relações do método com Lean

<i>Lean</i>	Método de PCP baseado em zonas de trabalho e BIM
Lidar com a incerteza	Esta sinergia é relacionada ao detalhamento gradual do plano, aspecto importante do LPS incluído no método. Neste ponto, o método permite que parte das análises de restrições, geralmente feitas no horizonte de médio prazo, possam ser realizadas no ciclo de produção, onde a incerteza é menor. Estes processos são suportados pelo detalhamento gradual do modelo BIM, o qual permite lidar com a incerteza de modo que o detalhamento seja realizado na medida em que se tenha a informação disponível, ou que ela seja necessária.
Redução do tamanho do lote	A redução do tamanho dos lotes é viabilizada e de certa forma incentivada pela divisão flexível da Hierarquia de Zonas de Trabalho. Os lotes são definidos a partir da vinculação das tarefas a um nível desta estrutura, e alterações nessa vinculação podem ser realizadas para analisar e visualizar o impacto da redução dos lotes de produção no restante do plano. Essa visualização é realizada no modelo BIM e na linha de fluxo.
Fluxo ininterrupto	A precedência lógica presente dentro das tarefas, permite que o fluxo ininterrupto seja forçado e o seu impacto visualizado no restante do cronograma. Ainda o modelo BIM evidencia a continuidade ou não das equipes ao longo das zonas de trabalho por meio de simulações 4D.
Fluxo contínuo	Tanto a linha de fluxo como as simulações 4D permite que sejam realizadas análises do ponto de vista das zonas de trabalho para verificar se as tarefas acontecem ou não em fluxo contínuo. Além disso, o balanceamento do tempo de ciclo e a sincronização das tarefas de forma visual, realizada com auxílio da linha de fluxo e das simulações 4D permitem buscar fluxo contínuo nem que seja em certas tarefas.
Melhoria contínua	A aprendizagem gerada pela comparação dos dados reais e planejados permite obter o desvio de ritmo das tarefas na linha de fluxo. Isso além de permitir melhor dimensionar os recursos para as zonas de trabalho futuras, permite ações proativas. Além disso, o foco do método em definir zonas de trabalho e identificar um padrão de repetitividade, enfatiza que o trabalho seja planejado em lotes, e consequentemente se busque a redução do tamanho dos mesmos. Assim, o efeito aprendido acaba gerando uma melhoria contínua a todo o processo de PCP.
Aumento da colaboração	A colaboração é facilitada primeiramente pelo nivelamento do conhecimento, onde os envolvidos conseguem entender melhor o projeto, o plano e o fluxo da produção a partir das simulações 4D e da linha de fluxo. Além disso, a necessidade de integração entre as diferentes áreas exige o aumento da colaboração, visto que o nível de detalhe entre o modelo-custo-planejamento precisa ser compatível e as decisões tomadas de forma conjunta.
Aumento da transparência	As saídas do método (linha de fluxo, quadro de controle, <i>snapshots</i> , vídeos ou visualização dinâmica) além de serem mais facilmente entendidas, são potenciais ferramentas para uso em dispositivos visuais, em que a informação pode ficar ao alcance de todas as pessoas. Além disso, quem desenvolve o planejamento, consegue verificar o impacto das alterações do planejamento, como o sequenciamento, por meio da linha de fluxo e das simulações 4D, além de entender melhor os vínculos lógicos realizados.
Aumento do valor	Ao buscar entender as necessidades dos clientes internos e considerá-las o valor é aumentado (equipes de produção, planejamento e custos). Além disso, a visualização do projeto e as simulações 4D permitem aumentar o valor para os setores mais operacionais, os quais acabam vendo mais sentido no seu trabalho, e também para os valores mais estratégicos, que acabam verificando todo o escopo da produção e conseguem entender mais a fundo a execução. Há também aumento do valor para o cliente final ao ter acesso a simulação 4D e identificar como está o andamento do empreendimento. Este aumento do valor também está relacionado ao aumento da flexibilidade de saída do plano, em que se pode realizar simulações 4D de diferentes alternativas a fim de determinar qual seria a mais adequada.
Redução da variabilidade	Além do aspecto da hierarquização incorporada pelo Sistema <i>Last Planner</i> , a utilização de folgas programadas permitem lidar com a variabilidade. Somado a essas, a maior quantidade de informação gerada pelo modelo BIM, e a melhor compreensão do projeto e do plano permitem que se reduza a variabilidade do planejamento relacionada a falta de informação.
Redução das atividades que não agregam valor	Ao estudar os fluxos de trabalho com uso das simulações 4D e da linha de fluxo, pode-se evidenciar e reduzir atividades de fluxo, as quais não agregam valor. Além disso, a ênfase dada ao fluxo ininterrupto dos recursos de certa forma contribui para essa redução, visto que pode contribuir com a redução das movimentações no canteiro de obras.
Aumento da flexibilidade de saída	Como a linha de fluxo e as simulações 4D permitem gerar diferentes alternativas para as estratégias de produção e planos em um tempo relativamente curto, é possível escolher a melhor solução, e guardar as demais para caso surjam imprevistos.

(Fonte: elaborado pelo autor)

7 CONCLUSÕES

7.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O presente trabalho partiu da necessidade de desenvolver estudos sobre métodos de PCP que considerassem a natureza parcialmente repetitiva da atividade de construção e os aspectos relacionados à gestão de fluxos de trabalho, num contexto de elevada incerteza e variabilidade, que é típico da indústria da construção. Também se considerou os potenciais benefícios de utilizar BIM 4D como meio para visualizar espacialmente os planos de produção para apoiar a tomada de decisão.

Apesar da principal contribuição deste trabalho ser um método, os resultados desta pesquisa apresentam três tipos de produtos da *Design Science* conforme exposto por March e Smith (1993). Estas relações entre as saídas da *Design Science* e os resultados do trabalho são apresentados na Figura 89. Logo, além de propor um método, este trabalho compreendeu a definição e o refinamento de um conjunto de conceitos relacionados ao planejamento baseado em zonas de trabalho, assim como a implementação parcial deste método em duas empresas do subsetor de edificações residenciais da indústria da construção.

Figura 89 – Relações entre as saídas da DSR e os resultados do trabalho

Saídas da <i>DSR</i>	Resultados do trabalho
Método	Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM.
Constructos	Definição e refinamento dos constructos relacionados ao método para PCP baseado em zonas de trabalho e BIM, específico para o setor da construção civil.
Implementações	As implementações do método em duas empresas permitiram desenvolvê-lo, refiná-lo e avaliá-lo quanto a sua utilidade e facilidade de uso.

(Fonte: elaborado pelo autor)

Este trabalho teve como objetivo principal “propor um método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM”. O método proposto, apresentado no item 6.1, emergiu ao longo do processo de pesquisa e foi dividido em cinco macro fases. A principal contribuição deste método em relação aos métodos anteriormente propostos é que ele operacionaliza o *Location-Based Management* de forma integrada ao Sistema *Last Planner*, considerando a visualização espacial dos planos de produção por meio do uso de BIM. Durante o desenvolvimento e a implementação deste método ficou evidente que existem diversas etapas que suportam o desenvolvimento do PCP baseado em zonas de trabalho e BIM. Estas etapas de suporte dizem respeito às quatro macro fases de suporte ao PCP inseridas no método. Com isso, o método engloba as diferentes etapas do processo de desenvolvimento do modelo 4D e do planejamento e controle da produção. Além disso, o método é composto por dois

conjuntos de diretrizes relacionadas a duas das macrofases definidas. O primeiro conjunto de diretrizes (item 6.1.1) diz respeito a definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho e contribui na definição desta estrutura, a qual é uma etapa fundamental que viabiliza a definição dos lotes de produção e de transferência. Já o segundo conjunto de diretrizes elaborado (item 6.1.2) permite identificar quais aspectos devem ser analisados para realizar a categorização dos elementos do modelo BIM em itens a fim de viabilizar a sua vinculação às tarefas ou componentes de custo. Além disso, o método conta com uma discussão das implicações da integração entre modelo-custo-planejamento (item 6.1.3), a qual apresenta e esclarece as necessidades que emergem em consequência desta integração, destacando-se a necessidade de colaboração entre as equipes de planejamento, custos e de desenvolvimento do modelo BIM.

As implementações realizadas não só permitiram construir em conjunto com as empresas soluções para problemas enfrentados pelas mesmas, como possibilitaram avaliar a solução frente aos constructos de utilidade e facilidade de uso. Com isso, foi identificado que os produtos do método desenvolvido, os quais são basicamente representados pela linha de fluxo e o modelo 4D, formam uma solução eficaz para visualizar os aspectos relacionados ao fluxo de trabalho, informações a respeito do produto, do escopo do plano e da configuração espacial do projeto. Consequentemente, a implementação de tal método aumentou substancialmente a compreensão do sequenciamento dos empreendimentos, permitiu identificar visualmente o escopo dos planos, permitiu visualizar os ritmos de produção, os lotes de produção e de transferência de forma mais clara, trouxe flexibilidade para a tomada de decisão e estimulou a um ambiente mais colaborativo. Ao longo dos estudos realizados foram identificados potenciais indicadores a serem utilizados para medir o desempenho dos planos em questão. Destacou-se a importância do controle do desvio de ritmo das atividades a partir do monitoramento das datas de início e término planejadas e reais, e do progresso das atividades nas zonas de trabalho. Estes dados permitem obter informações relevantes a respeito do trabalho em progresso, variabilidade do tempo de ciclo, aderência ao lote de produção, interrupção nos fluxos e trabalho fora de sequência.

Além do objetivo geral, foi proposto o objetivo específico de “propor um mapa conceitual que relacione os conceitos e princípios fundamentais que sustentam o método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM”. Nesse âmbito, o mapa conceitual, proposto no item 6.3, permitiu apresentar as relações entre um conjunto de conceitos relacionados ao planejamento baseado em zonas de trabalho utilizados e definidos neste trabalho. Estes conceitos, aplicados no contexto da construção civil, suportam o método e permitem a compreensão das macro fases, dos principais elementos contidos no método e das interações entre o custo-planejamento. Este trabalho também contribuiu com novas conceptualizações realizadas dos constructos adaptados e utilizados nesta

pesquisa: zonas de trabalho, estrutura hierárquica de zonas de trabalho, sistemas de localização e linha de fluxo.

Ao longo da etapa de implementação foram identificadas sinergias do método proposto com *Lean*, as quais foram apresentadas no item **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. Destaca-se o potencial do método para a redução do tamanho dos lotes, o que é incentivado e suportado pela Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho enquanto se realiza divisões sucessivas das zonas de trabalho diretamente no modelo BIM a fim de alocar as porções do trabalho. Além deste, destaca-se o aumento da colaboração gerada pela necessidade de maior envolvimento das equipes de planejamento e custo, e o aumento da transparência da informação, que a partir das saídas do método, como os *snapshots*, a linha de fluxo e o quadro de controle, permitem que os envolvidos entendam melhor o escopo do planejamento e tenham a informação ao seu alcance por meio de dispositivos visuais. O método ainda contribui para uma política de melhoria contínua, enquanto o monitoramento fornece informações que permitem aprender a cada um dos ciclos de controle da produção. Com isso, concluiu-se que método busca contribuir para os objetivos da construção enxuta.

Outro objetivo específico desta pesquisa foi “propor a integração entre o método proposto e o Sistema *Last Planner*”. Identificou-se que o LPS possui um papel fundamental no método proposto. O aspecto de manter os compromissos com os planos, é facilitado no plano de curto prazo com o uso do modelo 4D. Este modelo permite que o plano seja discutido e comunicado de forma visual, aumentando assim o entendimento e conseqüentemente o compromisso do responsável com os pacotes de trabalho definidos. Em relação ao planejamento de médio prazo, parte do processo de análise de restrições, no âmbito de restrições ligadas a disponibilidade de zonas de trabalho e demandas da obra, podem ser passada para o ciclo de produção, ou seja, em uma etapa onde se tem maior acesso a informação e conseqüentemente a incerteza é menor. Por fim, para definir o planejamento de longo prazo, se conta com o suporte das simulações 4D para identificar melhores estratégias de produção enquanto se atende aos prazos e fluxos de caixa.

Ao longo deste trabalho também foram identificados importantes aspectos relacionados ao desenvolvimento e adaptação de modelos BIM utilizados para a finalidade de PCP. Percebeu-se o importante papel que tem a identificação das necessidades dos usuários do modelo BIM, que nesse caso são as equipes planejamento e custos. Percebeu-se que ao considerar estas necessidades, aumenta-se a flexibilidade de saída e permite que sejam realizadas simulações 4D de forma a verificar melhores alternativas ao planejamento. Apesar do nível de desenvolvimento dos elementos do modelo BIM serem peculiares a cada caso e a cada uso, dependendo principalmente do que se deseja simular e enxergar,

percebeu-se que um modelo BIM que possui elementos modelados em LOD 200 e 300 geralmente suprem as necessidades de simulação 4D.

A revisão da literatura, conduzida ao longo do desenvolvimento do trabalho, também contribuiu com o levantamento das diferentes ferramentas e métodos de planejamento pertinentes para a problemática apresentada. Logo, este trabalho contribuiu reunindo estas informações na forma de um quadro que aborda as diferenças entre o Método do Caminho Crítico (CPM) e o PCP baseado em zonas de trabalho, apresentadas no item 2.2.4.

Por fim, conclui-se que o método de planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM, considera a natureza parcialmente repetitiva da atividade de construção, permitindo que as porções do trabalho sejam planejadas a partir de simulações 4D e da linha de fluxo. Por conseguinte, estas permitem obter informações consistentes e relevantes para analisar, discutir e comunicar os planos, contribuindo para que a tomada de decisão busque as metas definidas ao mesmo tempo que se busque alcançar os objetivos da filosofia *lean*, sinalizados pelas sinergias destes com do método proposto.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final do desenvolvimento deste trabalho emergiram alguns tópicos, identificados como oportunidades a serem investigadas em trabalhos futuros:

- a) Aplicar o método, resultado deste trabalho, em diferentes contextos e em ambientes com menor repetitividade para avaliar a utilidade, a aplicabilidade e refinar a solução.
- b) Investigar mais a fundo a adoção do trabalho padronizado como uma forma de reduzir a variabilidade das tarefas, estabilizar o ritmo de produção e fazer com que a execução seja conduzida conforme o plano.
- c) Investigar mais a fundo as mudanças processuais geradas pela integração entre modelo-custo-planejamento, e identificar as suas consequências sobre os demais processos de orçamentação, planejamento, controle da produção, medição, modelagem 3D e inspeção de qualidade. Salienta-se ainda a necessidade de investigar e modificar as premissas da modelagem de custos.

REFERÊNCIAS

American Institute of Architects (AIA). **Document G202TM – 2013 Project Building Information Modeling Protocol Form**, 2013.

AL NASSERI, H. A.; WIDEN, K.; AULIN, R. A taxonomy of planning and scheduling methods to support their more efficient use in construction project management. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 14, n. 3, p. 580–601, 2016.

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

ALVES, T. DA C. L. **Diretrizes para gestão dos fluxos físicos em canteiros de obra: proposta baseada em estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ARDITI, D.; SIKANGWAN, P.; TOKDEMIR, O. B. Scheduling system for high rise building construction. **Construction Management and Economics**, v. 20, n. 4, p. 353–364, 2002.

ARDITI, D.; TOKDEMIR, O. B.; SUH, K. Effect of learning on line-of-balance scheduling. **International Journal of Project Management**, v. 19, n. 5, p. 265–277, 2001.

ASBEA. Guia de Boas Práticas em BIM – Fascículo II – Fluxo de projetos em BIM: planejamento e execução. 2015 Disponível em: <<http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/d6005212432f590eb72e0c44f25352be.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

ASSUMPTÃO, J. F. P. **Gerenciamento de Empreendimentos na Construção Civil: Modelo para Planejamento Estratégico da Produção de Edifícios**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1996.

BABUROGLU, O. N.; RAVN, I. Normative Action Research. **Organization Studies**, v. 13, n. 1, p. 019–034, 1992.

BALDAUF, J. P. **Proposta para método de modelagem de requisitos de clientes de empreendimentos habitacionais de interesse social usando BIM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2, Santiago, 1994. **Proceedings...** Santiago, 1994.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Implementing lean construction: improving downstream performance. In: ALARCÓN, L. (Ed.). **Lean construction**, p. 111–125, 1997.

BALLARD, G.; HOWELL, G. Shielding Production: Essential step in production control. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 124, n. 1, p. 11–17, 1998.

BALLARD, G.; KOSKELA, L.; HOWELL, G.; ZABELLE, T. **Production system design: Work structuring revisited**. White Paper, v. 11. 2001.

BALLARD, H. G. **The Last Planner System of Production Control**. Tese (Ph.D) - School of Civil Engineering: Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BARCAUI, A. B.; BORBA, D.; DA SILVA, I. M.; NEVES, R. B. **Gerenciamento do tempo em projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

BATAGLIN, F. S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados Engineer-to-order**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

BATAGLIN, F. S.; VIANA, D. D.; FORMOSO, C. T.; BULHÕES, I. R. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto engineer-to-order. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 173-192, 2018.

BEDRICK, J. **Organizing the Development of a Building Information Model**. The American Institute of Architects, v. 9, 2008.

BENJAORAN, V.; TABYANG, W.; SOOKSIL, N. Precedence relationship options for the resource levelling problem using a genetic algorithm. **Construction management and economics**, v. 33, n. 9, p. 711–723, 2015.

BERNSTEIN, H. M.; JONES, S. A.; RUSSO, M. A.; LAQUIDARA-CARR, D.; TAYLOR, W.; RAMOS, J.; TERUMASA, Y. The business value of BIM for construction in major global markets. **Bedford: McGraw Hill Construction**, 2014.

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

BILJECKI, F.; LEDOUX, H.; STOTER, J. An improved LOD specification for 3D building models. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 59, p. 25-37, 2016.

BIMFORUM. **LOD | BIMForum**. Disponível em: <<http://bimforum.org/lo/>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

BIOTTO C.; KAGIOGLOU M.; KOSKELA L.; TZORTZOPOULOS P. “Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools.” In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25., Heraklion, 2017. **Proceedings...** Heraklion, 2017. p. 713–720.

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

BJÖRNFOT, A.; JONGELING, R. Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning. **Construction innovation**, v. 7, n. 2, p. 200-211, 2007.

BOLPAGNI, M.; CIRIBINI, A. L. C. The information modeling and the progression of data-driven projects. In: **Proceedings CIB world building congress**, v. 3, 2016. p. 296-307.

BØLVIKEN, T.; ASLESEN, S.; KOSKELA, L. What Is a Good Plan? In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2017. p. 93–102.

BØLVIKEN, T.; ROOKE, J.; KOSKELA, L. The wastes of production in construction-a TFV based taxonomy. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014. p. 811-822.

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**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

BOTON, C.; KUBICKI, S.; HALIN, G. "The Challenge of Level of Development in 4D/BIM Simulation Across AEC Project Lifecycle. A Case Study." **Procedia Engineering**, v. 123, p. 59–67, 2015.

BRAGADIN, M.A; KÄHKÖNEN, K. Schedule health assessment of construction projects. **Construction management**, 2016.

BROEKMAAT, M. Using the Model Progression Specification. Disponível em: <http://www.tekla.com/de/trimble-5d/model-progression-specification.pdf> ACESSADO EM: 12 jul. 2018.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes Para Implementação de Fluxo Contínuo na Construção Civil: uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

BULHÕES, I. R.; PICCHI, F. A. Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações. **Ambiente Construído** n. 11, p. 205-223, 2011.

BULHÕES, I. R.; PICCHI, F.A.; FOLCH, A.T. Actions to Implement Continuous Flow in the Assembly of Pre-Fabricated Concrete Structure. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 14., Santiago, 2006. **Proceedings...** Santiago, 2006.

CARDIM, R. F.; GRANJA, A. D. Proposta de PCP Com Base no Método da Corrente Crítica e do Last Planner System. In: **Anais Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, v. 7, João Pessoa, 2011.

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.

COLE, R.; PURAO, S.; ROSSI, M.; SEIN, M.. Being proactive: where action research meets design research. **ICIS 2005 Proceedings**, 27. 2005

CRICHTON, C. **Interdependence and Uncertainty: A study of the building industry**. Tavistock Institute, Tavistock Pubs., London, p. 83, 1966.

CROTTY, R. **The Impact of Building Information Modelling: Transforming Construction**. Routledge, 2012.

- DAVE, B. **Developing a Construction Management System Based On Lean Construction And Building Information Modelling**. Tese (Doutorado), University of Salford Manchester, England, 2013.
- DAVE, B.; HÄMÄLÄINEN, J. P.; KEMMER, S.; KOSKELA, L.; KOSKENVESA, A. Suggestions to Improve Lean Construction Planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings**... Perth, 2015. p. 193-202.
- DAVE, B.; SEPPÄNEN, O.; MODRICH, R. Modeling Information Flows Between Last Planner and Location Based Management System. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings**... Boston, 2016. p. 63–72.
- DE MIRANDA FILHO, A. N.; DA COSTA, J. M.; HEINECK, L. F. M.; ISATTO, E. L.; CUNHA, J. F. Comparação entre modos de gestão nas diferentes estruturas organizacionais da construção civil. **ENEGEP 2006**, 2006.
- DUBOIS, A.; GADDE, L. E. The construction industry as a loosely coupled system: implications for productivity and innovation. **Construction Management & Economics**, v. 20, n. 7, p. 621-631, 2002.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Hoboken, USA: Wiley & Sons, 2008.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2nd. ed., Wiley, 2011.
- EDEN, C.; HUXHAM, C. Action Research for Management Research. **British Journal of Management**, v. 7, n. 1, p. 75–86, 1996.
- EVINGER, J.; MOUFLARD, C.; SEPPÄNEN, O. Productivity effects of starting as early as possible in hospital construction. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings**... Heraklion, 2013.
- FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M.; OLIVEIRA, L. F.; OLIVEIRA, K. A. **Termo de referência para o processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. Núcleo orientado para inovação da edificação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- FOSSE, R.; BALLARD, G.; FISCHER, M. Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 25., Heraklion, 2017. **Proceedings**... Heraklion, 2017. p. 499–506.
- FRANDSON, A. G.; SEPPÄNEN, O.; TOMMELEIN, I. D. Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings**... Perth, 2015. p. 3–12.
- FRANDSON, A.; BERGHEDE, K.; TOMMELEIN, I. D. Takt time planning for construction of exterior cladding. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. **Proceedings**... Fortaleza, 2013. p. 527–536.

FRANDSON, A.; TOMMELEIN, I. D. **Development of a takt-time plan: a case study**. In: Construction Research Congress. Atlanta, EUA, 2014. p. 1646-1655.

GLEDSON, B. J.; AND GREENWOOD, D. "The adoption of 4D BIM in the UK construction industry: an innovation diffusion approach." **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24 n. 6, p. 950–967, 2017.

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.

HAMZEH, F.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. D. Rethinking look ahead planning to optimize construction workflow. **Lean Construction Journal**, v. 1, n. 1, p. 15-34, 2012.

HAMZEH, F.; ZANKOUL, E.; AND ROUHANA, C. How can 'tasks made ready' during lookahead planning impact reliable workflow and project duration? **Construction management and economics**, v. 33, n. 4, p. 243–258, 2015.

HAMZEH, F.R.; TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G.; KAMINSKY, P. "Logistics Centers to Support Project-Based Production in the Construction Industry". In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 15., Lansing, 2007. **Proceedings...** Lansing, 2007. p. 181-191.

HARRIS, R. B.; IOANNOU, P. G. Scheduling Projects with Repeating Activities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 124, n. 4, p. 269–278, 1998.

HEESOM, D; MAHDJOUBI, L. "A dynamic 4D simulation system for construction space planning." In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DECISION MAKING IN URBAN AND CIVIL ENGINEERING, London, 2002. **Proceedings...** London, 2002. p. 6-8.

HEGAZY, T.; KAMARAH, E. Efficient repetitive scheduling for high-rise construction. **Journal of construction engineering and management**, v. 134, n. 4, p. 253–264, 2008.

HEGAZY, T.; MENESI, W. Critical path segments scheduling technique. **Journal of construction engineering and management**, v. 136, n. 10, p. 1078–1085, 2010.

HENRICH, G.; DOS SANTOS, A.; KOSKELA, L. Teoria e Métodos para Gestão da Produção na Construção. XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC. **Anais...** 2006.

HOLMSTRÖM, J.; KETOKIVI, M.; HAMERI, A.-P. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. **Decision Science**, v. 40, n. 1, p. 65–87, 2009.

HOOPER, M. Automated model progression scheduling using level of development. **Construction Innovation**, v. 15, n. 4, p. 428–448, 2015.

HOOPER, M.; EKHOLM A. 'A BIM-info delivery protocol', Australasian **Journal of Construction Economics and Building**, v. 12, n. 4., p. 39-52, 2012.

HOOPER, M.; EKHOLM, A. A Pilot Study: towards BIM integration, an analysis of design information exchange & coordination. 2010. In: INTERNATIONAL CONFERENCE APPLICATIONS OF IT IN THE AEC INDUSTRY & ACCELERATING BIM RESEARCH WORKSHOP, 27., Cairo, 2010. **Proceedings...** Cairo, 2010. p. 16-18.

- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **Factory Physics**. New York: McGraw-Hill/Irwin, 2000.
- HORMAN, M. J.; MESSNER, J. I.; RILEY, D. R. PULASKI, M. H. Using *buffers* to manage production: a case study of the pentagon renovation project. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 11., Virginia, 2003. **Proceedings...** Virginia, 2003.
- HUANG, C. C.; KUSIAK, A. Manufacturing control with a push-pull approach. **International Journal of Production Research**, v. 36, n. 1, p. 251-276. 1998.
- HUANG, R.-Y.; SUN, K. S. System development for non-unit based repetitive project scheduling. *Automation in Construction*, v. 14, n. 5, p. 650–665, 2005.
- IBARRA, J. F. V. **Integração de Modelos de Processo e Produto na Fase de Construção para o Controle da Produção e da Qualidade com o Apoio de BIM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- JAAFARI, A. Criticism of CPM for project planning analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, 1984.
- JÄRVINEN, P. Action research is similar to design science. **Quality and Quantity**, v. 41, n. 1, p. 37–54, 2007.
- JONGELING, R.; OLOFSSON, T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, v. 16, n. 2, p. 189–198, 2007.
- KALA, T.; MOUFLARD, C.; AND SEPPÄNEN, O. Production control using location-based management system on a hospital construction project. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20, San Diego, 2012. **Proceedings...** San Diego, 2012.
- KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting Research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243–264, 1993.
- KEMMER, S. L.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the line of balance for production system design. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 16., Manchester, 2008. **Proceedings...** Manchester, 2008.
- KENLEY, R. Dispelling the complexity MYTH: Founding lean construction on location-based planning. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 13., Sydney, 2005. **Proceedings...** Sydney, 2005. p. 245–251.
- KENLEY, R. Project micromanagement: practical site planning and management of work flow. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., Helsingør, 2004. **Proceedings...** Helsingør, 2004. p. 3–5.
- KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based Management for Construction. Planning, Scheduling and Control**. Routledge, 2006.
- KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. **Proceedings - Winter Simulation Conference**, 2009. p. 2563–2570.

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

KOO, B.; FISCHER, M. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. **Journal of construction engineering and management**, v. 126, n. 4, p. 251-260, 2000.

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 philosophy to construction**. CIFE Technical Report, v. 72: Center for Integrated Facility Engineering, Salford, 1992.

KOSKELA, L. J.; STRATTON, R.; KOSKENVESA, A. Last Planner and Critical Chain in Construction Management: comparative analysis, In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 18., Haifa, 2010. **Proceedings...** Haifa, 2010.

KOSKELA, L.; HOWELL, G. The underlying theory of project management is obsolete In: Project Management Institute Research Conference, 2002, Seattle. **Anais...** Seattle, United States, 2002.

KOSKELA, L.; HOWELL, G.; PIKAS, E.; DAVE, B. If CPM is so bad, why have we been using it so long? In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014. p. 23-27.

KOSKELA, L.; HUOVILA, P. On Foundations of Concurrent Engineering. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, London, 1997. **Proceedings...** London, 1997. p. 32-22.

KOSKELA, L.; STRATTON, R.; KOSKENVESA, A. Last planner and critical chain in construction management: comparative analysis. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 18, Haifa, 2010. **Proceedings...** Haifa, 2010.

LAUFER, A. Essentials of Project Planning: Owner's Perspective. **Journal of Management in Engineering**, New York, ASCE, v. 6, n. 2, p. 162-176, 1990.

LAUFER, A. **Simultaneous management: managing projects in a dynamic environment**. AMACOM New York. 1997.

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

LEE G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, v. 15, n. 6, p. 758-776, 2006.

LI, H.; CHAN, N.; HUANG, T.; GUO, H. L.; LU, W.; SKITMORE, M. "Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis." **Automation in Construction**, v. 18, n. 7, p. 912–918, 2009.

LI, Y.; STEPHENS, J.; RYBA, A. Four-dimensional modelling on Tottenham Court Road station. IN: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, UK, 2014. **Anais...** London, UK, 2014.

- LIKER, J. K. **The Toyota Way: 14 Management Principles From The World's Greatest Manufacturer**. USA: McGraw Hill Professional, 2004.
- LOWE, R.H., D'ONOFRIO, M.F., FISK, D.M. AND SEPPÄNEN, O. A comparison of location-based scheduling with the traditional critical path method. In: ANNUAL MEETING AMERICAN COLLEGE OF CONSTRUCTION LAWYERS, San Francisco, 2012. **Proceedings...** San Francisco, 2012.
- LUCKO, G.; ALVES, T. C. L.; ANGELIM, V. L. 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, K. The Constructive Research Approach. In: **Case study research in logistics**, v. Series B, p. 83–101, 2003.
- LUMSDEN, P. **The Line-of-Balance Method**, Pergamon Press, Oxford. 1968.
- MARCH, S. T.; SMITH, G. F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, n. 4, p. 251–266, 1995.
- MATTILA, K. G.; PARK, A. Comparison of linear scheduling model and repetitive scheduling method. **Journal of construction engineering and management**, v. 129, n. 1, p. 56–64, 2003.
- MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Operations management for MBAs**, John Wiley & Sons. 2009.
- MOHR, W. **Project Management and Control**, 5th ed., University of Melbourne, Department of Architecture and Building, Melbourne, Australia, 1991.
- MOON, H.; KIM, H.; KIM, C.; KANG, L. 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.
- NAHMIAS, S. **Production and Operations Analysis**. 6th ed., McGraw Hill/Irwin, NY, 789 pp, 2009.
- NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, n. 11, p. 69–81, 2008.
- NAVON, R.; SACKS, R. Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC). **Automation in Construction**, v. 16, n. 4, p. 474–484, 2007.
- OLIVIERI, H. Integração de sistemas de planejamento e controle da produção. Tese de doutorado (Doutor) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2016.
- OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D.; PICCHI, F. A. Planejamento tradicional, Location-Based Management System e Last Planner System : um modelo integrado. **Ambiente Construído**, v. vol.16, p. 265–283, 2016.
- OLIVIERI, H.; SEPPÄNEN, O.; GRANJA, A. D. Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system (LBMS). **Construction Management and Economics**, p. 109-124, 2018.

OLIVIERI, H.; SEPPÄNEN, O.; GRANJA, A. D. Integrating Lbms, Lps and Cpm: A Practical Process. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 24., Boston, 2016. **Proceedings...** Boston, 2016. p. 3–12.

OTERO, J. A. **Análise paramétrica de dados orçamentários para estimativa de custos na construção de edifícios: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

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

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

RADOSAVLJEVIĆ, M.; HORNER, R. M. W. The evidence of complex variability in construction labour productivity. **Construction Management & Economics**, v. 20, n. 1, p. 3-12, 2002.

REDA, R.M. RPM: Repetitive Project Modeling. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, 116(2), 316–30, 1990.

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

RUSSEL, A.; WONG, W. New generation of planning structures. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, 119(2), 196–214, 1993.

RUSSELL, A.; STAUB-FRENCH, S.; TRAN, N.; WONG, W. Visualizing high-rise building construction strategies using linear scheduling and 4D CAD. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 219-236, 2009.

RUSSELL, A.D; WONG, W. C. M. New generation of planning structures. **Journal of construction engineering and management**, v. 119, n. 2, p.196–214, 1993.

SACKS, R. *et al.* **Analysis Framework for the Interaction Between Lean Construction and Building Information Modelling.** In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 17., Taipei, 2009. **Proceedings...** Taipei, 2009. p. 221–233.

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

SACKS, R. What constitutes good production flow in construction? **Construction Management and Economics**, v. 34, n. 9, p. 641–656, 2016.

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

- SCHLUETER, A.; THESELING, F. Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.
- SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.
- SEBASTIAN, R. Changing Roles of the Clients, Architects and Contractors Through BIM. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 18, n. 2, p. 176-187, 2011.
- SEIN, M. K. *et al.* Action design research. **MIS Quarterly**, v. 30, n. 3, p. 611–642, 2011.
- SELINGER, S. Construction planning for linear projects. **Journal of the Construction Division**, ASCE, 106(2), 195–205, 1980.
- SEPPÄNEN, O. A comparison of takt time and LBMS planning methods. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014. p. 727–738.
- SEPPÄNEN, O. **Empirical research on the success of production control in building construction projects**. Tese (PhD), Department of Structural Engineering and Building Technology, Helsinki University of Technology, Finland, 2009.
- SEPPÄNEN, O.; BALLARD, G.; PESONEN, S. The combination of last planner system and location-based management system. **Lean Construction Journal**, p. 43–54, 2010.
- SEPPÄNEN, O.; EVINGER, J.; MOUFLARD, C. Effects of the location-based management system on production rates and productivity. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 608–624, 2014.
- SEPPÄNEN, O.; KANKAINEN, J. Empirical research on deviations in production and current state of project control. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12, Helsingor, 2004. **Proceedings...** Helsingor, 2004.
- SEPPÄNEN, O.; MODRICH, R. U.; BALLARD, G. Integration of Last Planner System and Location-Based Management System. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 23., Perth, 2015. **Proceedings...** Perth, 2015. p. 123–132.
- SHASH, A.A.; AHCOM, J. Organizational aspects of planning and scheduling subsystem. **Journal of Construction Research**, Vol. 7 No. 1, pp. 247-265, 2006.
- SHINGO, S. **A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint**. [s.l.] CRC Press, 1989.
- SHOOK, J. Y. Bringing the Toyota Production System to the United States: a personal perspective. **Becoming lean: Inside stories of US manufacturers**, 1997.
- SIAMI-IRDEMOOSA, E.; DINDARLOO, S. R.; SHARIFZADEH, M. Work breakdown structure (WBS) development for underground construction. **Automation in Construction**, v. 58, p. 85-94, 2015.

SOUZA, U. E. L. Como medir a produtividade da mão-de-obra na construção civil. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 8, n. 1, 2000.

SOUZA, U. E. L. Produtividade e custos dos sistemas de vedação vertical. **Tecnologia e gestão na produção de edifícios**, p. 237-48, 1998.

SU, Y.; LUCKO, G. Comparison and renaissance of classic line-of-balance and linear schedule concepts for construction industry. **Organization, technology & management in construction: an international journal**, v. 7, n. 2, p. 1315-1329, 2015.

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

SULANKIVI, K.; KAHKONEN, K.; MÄKELÄ, T.; KIVINIEMI, M. “4D-BIM for construction safety planning.” **Proceedings of W099-Special...**, p. 117–128, 2010.

TEICHOLZ, P.; GOODRUM, P. M.; HAAS, C. T. U.S. Construction Labor Productivity Trends, 1970–1998. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 127, n. 5, p. 427–429, out. 2001.

TOMMELEIN, I. D.; BALLARD, G. Look-ahead planning: screening and pulling. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL A CONSTRUÇÃO SEM PERDAS, 2., São Paulo, 1997. **Anais...** São Paulo, 1997.

TRIGUNARSYAH, B.; ABIDIN, I. Influence of Construction Planning in Increasing the Value Added of the Construction Sector. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTION PROCESS RE-ENGINEERING, Australia, 1997. **Proceedings...** Australia, 1997.

VALENTE, C. P. *et al.* Guidelines for Developing a Line of Balance for Non-Repetitive Areas (Common Areas) at a Vertical Residential Building. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 22., Oslo, 2014. **Proceedings...** Oslo, 2014. p. 763-774.

VAN AKEN, J. E. Management research as a design science: Articulating the research products of mode 2 knowledge production in management. **British Journal of Management**, v. 16, n. 1, p. 19–36, 2005.

VAN AKEN, J. E. Management research on the basis of the design paradigm: The quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219–246, 2004.

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

VICO OFFICE. **MPS History and Evolution**. Disponível em: <http://www.vicosoftware.com/mps-history-and-evolution>. Acesso em: 12 ago. 2017.

VICO OFFICE. **Vico Office LBS Manager**. Disponível em: <http://www.vicosoftware.com/products/vico-office-lbs-manager-location-breakdown>. Acesso em: 14 dez. 2016.

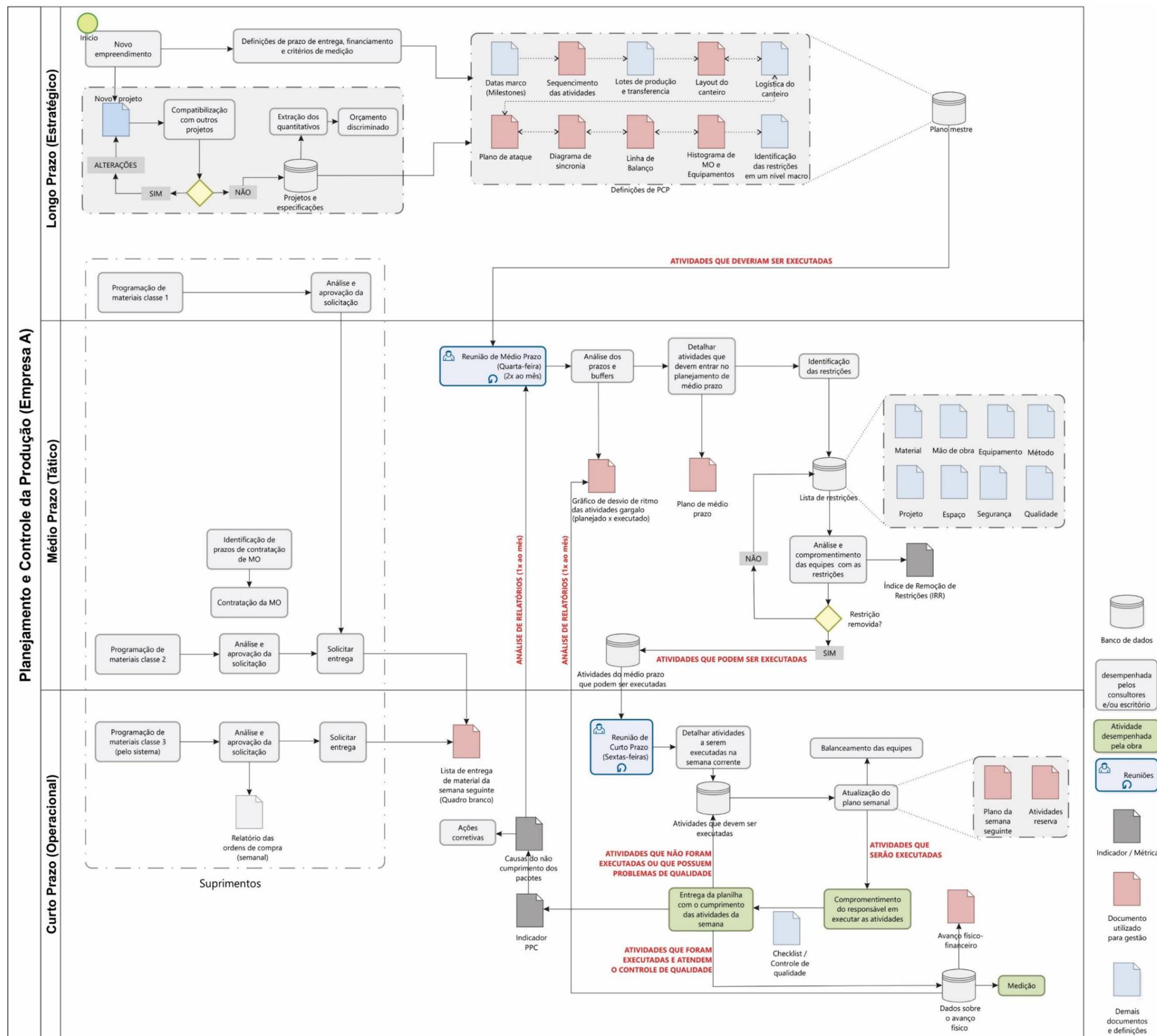
WANG, W.; WENG, S.; WANG, S.; CHEN, C. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68-80, 2014.

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

YANG, I. T.; IOANNOU, P. G. Scheduling system with focus on practical concerns in repetitive projects. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 6, p. 619–630, 2004.

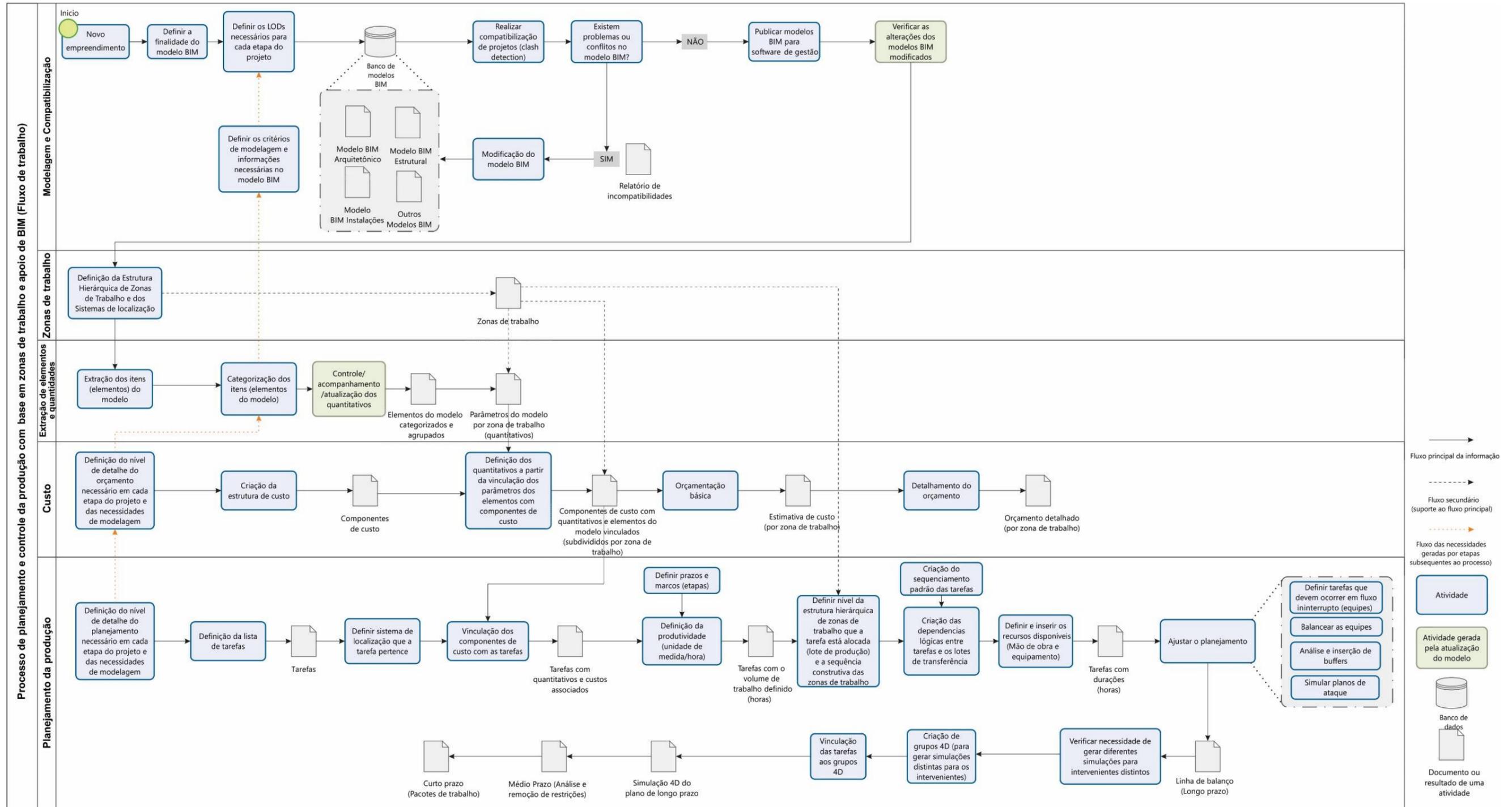
ZHANG, J.; LI, D. “Research on 4D Virtual Construction and Dynamic Management System Based on BIM.” **Nottingham University Press**, 2010.

APÊNDICE A – Fluxograma do PCP adotado na Empresa A



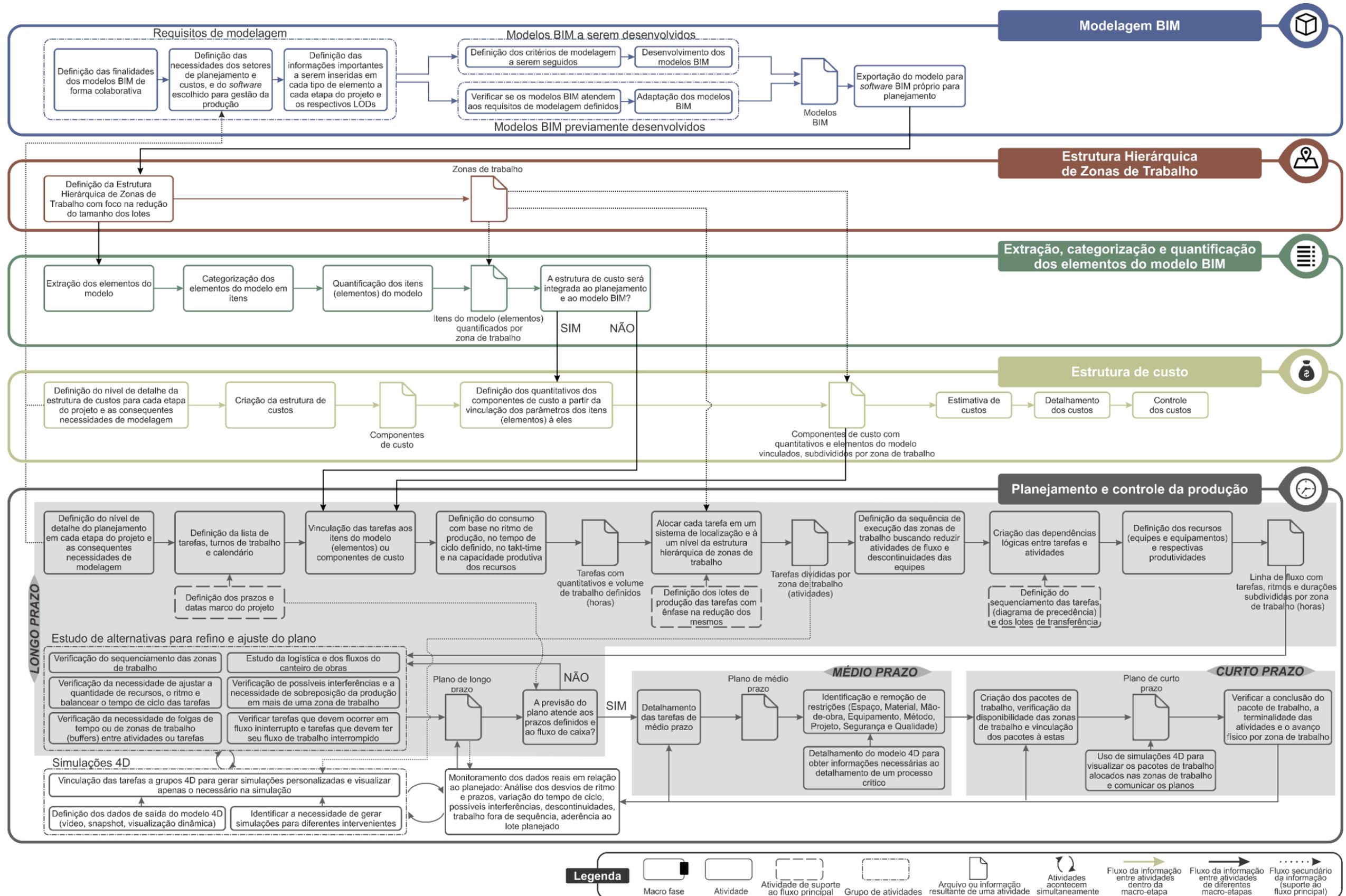
(Fonte: elaborado pelo autor)

APÊNDICE B –Fluxo da informação dos processos relacionados ao PCP baseado em zonas de trabalho e BIM



(Fonte: elaborado pelo autor)

APÊNDICE D – Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em zonas de trabalho e BIM detalhado



(Fonte: elaborado pelo autor)