



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LIA RIBEIRO DA SILVA**

**APLICAÇÃO DO BIM INTEGRADO À CONSTRUÇÃO ENXUTA, COM ENFOQUE**  
**NO SISTEMA *LAST PLANNER***

**FORTALEZA**

**2017**

LIA RIBEIRO DA SILVA

**APLICAÇÃO DO BIM INTEGRADO À CONSTRUÇÃO ENXUTA, COM ENFOQUE  
NO SISTEMA *LAST PLANNER***

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José de Paula Barros Neto

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S581a Silva, Lia Ribeiro da.

Aplicação do BIM integrado à Construção Enxuta, com enfoque no Sistema Last Planner / Lia Ribeiro da Silva. – 2017.

94 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. José de Paula Barros Neto.

1. BIM 4D. 2. Construção Enxuta. 3. Last Planner. 4. Lean Construction. 5. Planejamento. I. Título.  
CDD 620

---

LIA RIBEIRO DA SILVA

APLICAÇÃO DO BIM INTEGRADO À CONSTRUÇÃO ENXUTA, COM ENFOQUE NO  
SISTEMA *LAST PLANNER*

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. José de Paula Barros Neto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Mariana Monteiro Xavier de Lima  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng<sup>ª</sup>. Esp. Juliana Quinderé Carneiro (Examinador Externo)  
AVAL Engenharia



Aos meus pais, Leopoldo e Emília, e a minha  
irmã, Mila, por todo apoio e paciência.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades concedidas durante esses seis anos na UFC. À Obra Lumen de Evangelização por fazer parte da minha vida desde 2008 e por ter deixado o caminho mais leve, cheio de aprendizado e crescimento.

À minha família espalhada pelo mundo (Fortaleza, Belém, Natal, Portugal, Itália, Austrália), em especial aos meus pais, irmã e avós, Leopoldo, Emília, Mila, Leomar e Juarez, por serem inspirações, por todo encorajamento e por não medirem esforços pela minha felicidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José de Paula Barros Neto, por sua orientação e incentivo, além de ser exemplo de profissional.

Aos participantes da banca, Prof<sup>a</sup>. Dr. Mariana M. Xavier de Lima e Eng<sup>a</sup>. Juliana Quinderé, pelo tempo dedicado, contribuindo com o aperfeiçoamento dessa pesquisa.

Aos que colaboraram com a pesquisa de uma forma direta, Francisco Xavier, Rui Alencar, Matheus Cunha, Juliana Quinderé, Luis Felipe Cândido e João Bosco.

À equipe AVAL Engenharia pela colaboração com esse trabalho, pelo aprendizado diário e por serem, muitas vezes, a parte mais divertida da semana.

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada de estudos, companheiros de bons e divertidos momentos, além das tensões pré-prova e de trabalhos até a madrugada. Em especial à Rayssa, Matheus Rocha, Natália e Mariana, pela amizade e por sempre me ajudarem a ser uma pessoa melhor.

Ao Amós, Vitor e Yan, companheiros de orientação, pelos momentos de aflição conjunto e pelo conhecimento compartilhado ao longo desse semestre. Deu certo para todos nós.

E a todos que me auxiliaram ao longo desse caminho percorrido, contribuindo para essa conquista.

“Assim brilhe a vossa luz diante dos homens  
para que, vendo as vossas boas obras,  
glorifiquem ao Pai que está nos céus” (Mt 5,16)

## RESUMO

Apesar de se saber os benefícios que o BIM (*Building Information Modeling*) e os princípios da construção enxuta, com enfoque no sistema *Last Planner* (LPS), produzem individualmente, há muito a se explorar sobre as melhorias que a associação desses elementos causa na construção de um empreendimento. Assim, este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade, a eficiência e os benefícios que a integração do BIM com o planejamento de longo e médio prazo (LPS) pode fornecer melhorias à indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção. Para tal, realizou-se um estudo de caso de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, no qual se propôs a aplicação da modelagem 4D para a visualização da construção, de forma a se verificar a viabilidade, a eficiência e os benefícios dessa integração. Como resultados, além da modelagem 4D de um pavimento tipo com os seus respectivos pacotes de trabalho, pôde-se analisar: as tomadas de decisões, como alterações de predecessores para melhorar o fluxo de trabalho; a validação do planejamento de longo prazo, aumentando a confiabilidade do planejamento; maior facilidade na listagem das restrições no planejamento de médio prazo; tabela com sinergias entre BIM e *Lean*, apontadas pelos entrevistados; e dificuldades encontradas. Portanto, conclui-se que a utilização da ferramenta BIM colabora e melhora o desenvolvimento dos planejamentos de Longo e Médio Prazo.

**Palavras-chave:** BIM 4D. Construção Enxuta. *Last Planner*. Modelagem. Planejamento.

## **ABSTRACT**

Although the benefits of BIM (Building Information Modeling) and the principles of lean construction, focusing on the Last Planner System (LPS), are known individually, there is much more to explore about the improvements that association of these elements can cause in building construction. Thus, this work aims to verify the feasibility, the efficiency and benefits that the integration of BIM with Master and Lookahead Planning (LPS) can provide to the Architecture, Engineering and Construction industry. For such purpose, a case study of a multi-floor residential building was carried out, in which the application of 4D modeling to the construction visualization was proposed, in order to verify the feasibility, efficiency and benefits of this integration. As a result, besides the 4D model of a type pavement with its respective work packages, it was possible to analyze: decision-making such as predecessor changes to improve workflow, Master Plan validation which increased planning reliability, easier restrictions listing while doing the Lookahead Planning, a table with synergies between BIM and Lean pointed out by the interviewees, and difficulties encountered. Therefore, it is concluded that the use of BIM tools contribute and improve the development of the Master and Lookahead Planning.

**Keywords:** BIM 4D. Lean Construction. Last Planner. Modeling. Planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Comparação entre o processo tradicional no CAD e o processo BIM.....	19
Figura 2– Tempo de Projeto BIM x CAD (GRAPHISOFT).....	20
Figura 3– Exemplo de detecção de choques físicos entre atividades: tubulação de gás conflitando com caixa de inspeção. ....	22
Figura 4– Exemplos de extrações de quantidades realizadas por soluções BIM. ....	22
Figura 5– Gráfico de barras comparando frequência de uso em relação ao benefício percebido .....	23
Figura 6– A Casa da Toyota.....	24
Figura 7– Produção como um fluxo de processos. As caixas sombreadas representam as atividades que não agregam valor ao processo.....	26
Figura 8– Formação das atribuições processo de planejamento do Last Planner.....	30
Figura 9– A Casa da Toyota e as inovações para apoiar à implementação da construção enxuta. .....	30
Figura 10– Ciclo PDCA. ....	31
Figura 11– Exemplo de Linha de Balanço Base feita para um planejamento de longo prazo.	32
Figura 12 – Sistema Last Planner com ênfase no planejamento de médio prazo.....	33
Figura 13– Exemplo de relatório de restrições. ....	33
Figura 14– Exemplo de relatório de causas do não cumprimento das atividades planejadas. .	34
Figura 15– Exemplo de relatório de causas do não cumprimento das atividades planejadas. .	34
Figura 16– Diagrama do fluxo de dados do processo Definir Escopo. ....	36
Figura 17– Diagrama do fluxo de dados do processo Criar EAP. ....	37
Figura 18– Integração BIM e LPS.....	40
Figura 19– Ranking do grau de importância das potencialidades da modelagem BIM 4D .....	41
Figura 20– Ranking da aplicabilidade das potencialidades da modelagem BIM 4D .....	42
Figura 21– Método do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção .....	43
Figura 22– Arcabouço teórico de integração BIM com o Sistema Last Planner.....	45
Figura 23– Delineamento da pesquisa .....	46
Figura 24– Edifício X (Fortaleza/CE).....	51
Figura 25– Planta Arquitetônica Edifício X .....	52
Figura 26– Fluxograma Integração da Modelagem.....	55
Figura 27– Ajustes de parâmetros entre Navisworks e MS Project.....	56
Figura 28– Interface TimeLiner.....	57

Figura 29– Agrupamento em Sets.....	58
Figura 30– Exemplo de Pacote de Trabalho .....	60
Figura 31– Elementos de Canteiro.....	61
Figura 32– Agrupamento dos Pacotes de Trabalho .....	62
Figura 33– Simulação Estrutura e Guarda Corpo de Proteção.....	62
Figura 34– Simulação Alvenarias .....	63
Figura 35– Simulação Alv. Bloco Concreto e Instalações .....	63
Figura 36– Simulação Ramais Esgoto .....	64
Figura 37– Simulação Contrapiso.....	64
Figura 38– Instalações Executadas .....	65
Figura 39– Simulação Impermeabilização .....	65
Figura 40– Simulação Revestimento Gesso .....	66
Figura 41– Simulação Revestimento Piso Box/Paredes .....	66
Figura 42– Simulação Forro de Gesso .....	67
Figura 43– Forro de Gesso Executado .....	67
Figura 44– Detalhe Simulação .....	68
Figura 45– Portas e Esquadrias Instaladas .....	68
Figura 46– Pavimento Tipo ao final da Simulação.....	69
Figura 47– Fluxograma PCP .....	70
Figura 48– Execução Impermeabilização .....	72
Figura 49– Execução Divisórias de Gesso .....	73
Figura 50– Execução dos Saiotes antes das Prumadas .....	74
Figura 51– Informações Simulação .....	76
Figura 52– Configuração da Simulação .....	76
Figura 53 – Informações Simulação na Aba Timeliner.....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Integração BIM e Construção Enxuta aplicada ao PCP.....	39
Tabela 2– Principais ofertas BIM para edificações na etapa Pré-Obra.....	49
Tabela 3– Objetivos do trabalho .....	53
Tabela 4– Restrições Atividades .....	77
Tabela 5– Sinergias BIM/Lean .....	80



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAVT	<i>Computer Advanced Visualization Tools</i>
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
JIT	<i>Just In Time</i>
LB	Linha de Balanço
LPS	<i>Last Planner System</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical and Plumbing</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PIB	Produto Interno Bruto
PMI	<i>Project Management Institute</i>
SLP	Sistema <i>Last Planner</i>
STP	Sistema Toyota de Produção
VDC	<i>Visual Design and Construction</i>
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 Contexto e Justificativa	14
1.2 Problema e questão de pesquisa	17
1.3 Objetivos	17
1.4 Estruturação do Trabalho	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	19
2.1 BIM (Building Information Modeling)	19
2.2 Lean Construction (Construção Enxuta)	24
2.2.1 <i>Princípios da Construção Enxuta</i>	25
2.2.1.1 <i>Retirar ou Reduzir o que Não Agrega Valor</i>	25
2.2.1.2 <i>Atender Requisitos do Cliente</i>	26
2.2.1.3 <i>Reduzir Variabilidade</i>	26
2.2.1.4 <i>Reduzir Tempo de Ciclo</i>	26
2.2.1.5 <i>Reduzir Tamanhos de Lotes</i>	27
2.2.1.6 <i>Aumentar Flexibilidade</i>	27
2.2.1.7 <i>Uso do Gerenciamento Visual</i>	27
2.2.1.8 <i>Benchmarking</i>	27
2.2.1.9 <i>Selecionar um Controle de Produção Adequado</i>	28
2.2.1.10 <i>Outros Princípios</i>	28
2.3 Planejamento e Controle da Produção - Sistema <i>Last Planner</i> (SLP)	29
2.3.4 <i>Estrutura Analítica de Projeto</i>	35
2.3.5 <i>Técnicas de Planejamento – Linha de Balanço</i>	37
2.4 Integração BIM e Lean	38
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	46
3.1 Considerações Iniciais	46
3.2 Revisão Bibliográfica	46
3.2.1 <i>Tipo de Pesquisa</i>	47
3.2.2 <i>Estratégia de Pesquisa</i>	47
3.3 Fase Exploratória	49
3.4 Caracterização do Estudo de Caso	51
3.4.1 <i>Construção da Linha de Balanço Base</i>	53
3.4.2 <i>Integração da Modelagem</i>	55

<b>3.5 Fase de Consolidação .....</b>	<b>58</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Estudo de Caso .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.1 Construção da Linha de Balanço Base .....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.2 Integração da Modelagem.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.3 Avaliação do Planejamento de Longo e Médio Prazo.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1.3.1 Caracterização da etapa de planejamento e acompanhamento sem a utilização do BIM .....</b>	<b>69</b>
<b>4.1.3.2 Comparação do modelo 4D com o modelo tradicional (sem utilização do BIM) .....</b>	<b>71</b>
<b>4.1.3.3 Dificuldades encontradas .....</b>	<b>79</b>
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 Conclusões .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2 Recomendações .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
<b>APÊNDICE A – EAP COM REDE DE PREDECESSORES .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE B – PARTE DA LB BASE DO EDIFÍCIO X .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE C - ROTEIRO DAS ENTREVISTAS.....</b>	<b>92</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta primeira seção apresenta o tema do trabalho e a sua justificativa. Será contextualizado o que será abordado, enfatizando a questão de pesquisa, os objetivos gerais e os específicos.

### 1.1 Contexto e Justificativa

A construção civil é um setor importante para a economia, representando, em 2016, 5,6% do PIB brasileiro (CBIC, 2016). O setor movimenta grandes volumes de recursos financeiros, é intensivo em mão de obra e as suas margens são sensíveis às variações de conjuntura econômica, havendo, então, uma necessidade premente de ser eficiente em processos e gestão. Para tanto, deve-se investir em tecnologias construtivas, aplicar novas metodologias de trabalho e gerenciar minuciosamente os projetos. Além disso, demanda alternativas para tornar a atividade cada vez mais atrativa, de forma a maximizar a gestão da obra e de seus projetos.

Uma das maneiras de obter um bom gerenciamento de obras e de projetos é investir em um bom planejamento. Dessa forma, tem-se um maior alinhamento das metas, uma adequada definição das tarefas a serem executadas e uma visão geral do processo como um todo. Mattos (2010) diz que “[...] deficiências no planejamento e no controle estão entre as principais causas da baixa produtividade do setor, de suas elevadas perdas e da baixa qualidade dos seus produtos”. Além disso, Filippi e Melhado (2015) mostram, em um estudo realizado em 32 empreendimentos localizados em São Paulo, que as principais causas de atraso em obra estão relacionadas mais às questões internas e de organização dentro do canteiro de obra pelos gestores do que a questões externas, como chuvas, solo, variação do mercado, etc. Esse estudo reforça a relevância do investimento em qualificação de pessoas, sistemas e metodologias de Planejamento e Controle de Obras (PCP).

Portanto, por meio do PCP, pode-se melhorar a produtividade, pois os atrasos podem ser minimizados, com melhor fluxo de trabalho, alocação da mão de obra adequada, além da possível coordenação de diferentes atividades interdependentes, entre outros (BALLARD, 2000).

A necessidade de melhorar o PCP na Construção é aumentada, devido à complexidade de um edifício, o que exige o uso de inovações para facilitar a tomada de decisão. Dentre essas ferramentas, tem-se linha de balanço, *Last Planner System* (LPS-

planejamento de curto, médio e longo prazo) e visualização do empreendimento por meio de modelagem. Essa modelagem tem se destacado devido à capacidade de suportar e incrementar as práticas na construção civil desde o projeto (concepção e documentação), planejamento, execução até o uso e manutenção da edificação (EASTMAN *et al.*, 2011). Essas inovações são possíveis por meio do *Building Information Modeling* (BIM) ou modelagem da informação da construção.

Além disso, diversos estudos têm verificado a inserção do BIM com temáticas de gestões inovadoras, como a Construção Enxuta e a Construção verde. Essa interação gera, não somente colaboração entre projeto e construção, mas também eficiência em água e energia, além de materiais sustentáveis (DANTAS FILHO *et al.*, 2016). Em relação à construção enxuta, sua filosofia pode ser utilizada para melhorar a gestão da obra e facilitar as tomadas de decisão (KOSKELA, 1992) por meio das suas ferramentas: produção puxada, *kanbans*, *poka-yokes*, *andon*, gerenciamento visual, *benchmarking*.

A integração do BIM com a construção enxuta pode ser uma alternativa para esta otimização da gestão de obra pontuada mais acima. Segundo Bhatla e Leite (2012), enquanto o *Lean Construction* (construção enxuta) é uma filosofia cujo enfoque está na geração de valor para o cliente e na diminuição do desperdício, ao utilizar o mínimo de recursos possível, o BIM enfoca na aplicação da tecnologia para uma maior colaboração nas etapas de projeto e construção, além de proporcionar visualização de formas, detecção de choques e acesso *online* a todas essas informações.

Bolpagni *et al.* (2017), ao aplicarem a integração de BIM e *Lean* em uma grande organização, mostraram que ambas as ferramentas são essenciais na estratégia da empresa para inovar a entrega dos projetos e para manter bens e recursos. O plano de execução é definido com os interessados no projeto (*stakeholders*) para definir a utilização BIM (como para evitar choques) e as ferramentas *Lean* (como planejamento puxado e sistema *Last Planner*) para suportar a execução das condições de satisfação (CoS) dos clientes.

Os modelos BIM podem ser utilizados para gerar um modelo 4D. Dessa forma, é possível ter uma melhor visualização do planejamento e das suas atividades, pois as ferramentas do modelo BIM estarão ligadas a informações da obra, como pacotes de trabalho, duração, equipe, etc. (EASTMAN *et al.*, 2011).

Sacks *et al.* (2009) destacam que o uso da modelagem 4D pode ajudar a planejar um fluxo de trabalho contínuo, a comunicar processos padronizados para os funcionários, a monitorar produção para que haja melhoria contínua, a tornar o processo transparente, a garantir estabilidade dos pacotes de trabalho, entre outros.

Além disso, segundo Salmon (2009), quando essas duas filosofias trabalham em conjunto, são gerados benefícios não somente ao projeto e construção em si, mas para toda a sociedade, como a diminuição da energia utilizada, a redução de desperdício (lixo), a redução de riscos e o aumento da produtividade.

Sacks e Koskela (2010) listaram 56 interações entre *Lean* e BIM, das quais 48 possuem evidências documentadas. A análise desse quadro pôde comprovar a grande sinergia existente entre as ferramentas, a destacar a utilização do sistema *Last Planner* para planejar e controlar um sistema puxado.

Bhatla e Leite (2012), ao explorar a integração do BIM com o sistema *Last Planner*, mostraram que a aplicação dessas duas áreas na construção é justificada pelas significativas melhoras de custo, cronograma e qualidade verificadas na sua implantação. Os autores apontam que as reuniões de integração se mostraram muito úteis e foram capazes de diminuir os números de solicitação de informações, ordem de mudanças, e também foi verificada uma diminuição de retrabalho, o que induziu a um menor tempo de projeto. Entretanto, concluiu-se no trabalho explicado acima que os benefícios poderiam ter sido melhores se o sistema *Last Planner* tivesse sido mais bem implementado.

Mendes Jr *et al.* (2014) propõem um arcabouço teórico no qual consiste em uma proposta de interação sistemática da equipe com o BIM e o sistema *Last Planner*. No estudo de caso proposto pelos autores, o modelo BIM 4D era revisto ao elaborar o planejamento de médio prazo. Estes planos eram transmitidos com o sistema *Last Planner* e as restrições removidas pela equipe administrativa. O curto prazo também foi elaborado e difundido pelo modelo BIM.

Por fim, a utilização do BIM na construção civil traz consigo algo que a construção enxuta busca: a necessidade de analisar os processos organizacionais e de definição dos entregáveis (GARRIDO *et al.*, 2015), contribuindo com a definição dos pacotes de trabalho, que vão exigir cronograma, custo e qualidade. Os autores concluem que essa integração aumenta a eficiência da tomada de decisão no planejamento semanal.

Portanto, o presente trabalho justifica-se pela necessidade do mercado da construção civil de otimizar o gerenciamento e a execução de obras, de forma a se conseguir aumentar qualidade, diminuir custos, reduzir variabilidades, aumentar produtividade e obter como resultado a aproximação entre o que o foi planejado inicialmente e o que foi realizado.

## 1.2 Problema e questão de pesquisa

O problema da presente pesquisa está relacionado à possibilidade de uma menor eficiência do modo tradicional de se planejar uma obra ao se comparar com um planejamento integrado (BIM/*Lean*). Apesar de se saber os benefícios que o BIM e os princípios da construção enxuta produzem individualmente, ainda se podem explorar melhorias que a associação desses elementos causa na construção de um empreendimento, o que pode reduzir o incentivo à sua aplicação.

Conforme citado acima, existem 56 interações que essa associação pode criar (SACKS et al., 2010). Portanto, isso deveria implicar que qualquer construtora numa jornada *Lean* considerasse fortemente a utilização do BIM para melhorar seus resultados e, da mesma forma, qualquer empresa que estivesse implementando o BIM deveria garantir que sua técnica contribua para tornar seus processos mais enxutos. Além disso, Sacks e Koskela (2010) sugerem que todos os envolvidos no projeto (diretores, gerentes, projetistas e engenheiros) podem se beneficiar com a sistematização dessa integração, o que ajudaria no reconhecimento das potenciais sinergias quando planejado com *Lean* e BIM.

Portanto, este trabalho tem como foco a implementação de um modelo BIM 4D, utilizando-se do sistema *Last Planner*, para apoiar a tomada de decisão pelos gestores e pela administração da obra.

Diante do problema apresentado, podem ser formulados os seguintes questionamentos:

- a) Como ocorre a integração dos princípios do *Lean Construction* e das ferramentas BIM?
- b) Como a modelagem BIM pode ser utilizada no Planejamento e Controle da Produção?
- c) Quais os benefícios e dificuldades que a aplicação do BIM 4D no *Last Planner* (planejamento de longo e médio prazo) pode trazer para a construtora?

## 1.3 Objetivos

O objetivo geral do presente trabalho é **verificar a viabilidade, a eficiência e os benefícios que a integração do BIM ao sistema *Last Planner* pode fornecer à indústria da engenharia e construção**. Os objetivos específicos, apresentados abaixo, visam responder às questões de pesquisa listadas no item 1.2, fornecendo também as atividades a serem realizadas.

- a) Identificar os conceitos e aplicações do BIM e do *Lean Construction*, com enfoque no *Last Planner*;
- b) Modelar em BIM 4D para estudo do planejamento de longo e médio prazo;
- c) Analisar os pontos positivos e negativos da aplicação do modelo 4D no *Last Planner*, elaborando recomendações para sua aplicação.

## 1.4 Estruturação do Trabalho

A presente monografia está dividida em cinco capítulos:

O Capítulo 1 (Introdução) apresenta a contextualização, a justificativa do tema, a problematização e as questões de pesquisa, os objetivos e a divisão da monografia, de forma a evidenciar a proposta do trabalho.

O Capítulo 2 (Referencial Teórico) se trata de uma fundamentação teórica, abordando o tema e fornecendo o fundamento teórico indispensável para o entendimento do problema. São explorados definições e princípios gerais quanto ao BIM, ao *Lean*, ao *Last Planner* e à integração dessas ferramentas.

O Capítulo 3 (Materiais e Métodos) detalha como foi realizado a pesquisa. Serão explicados os instrumentos utilizados, a estratégia de pesquisa, a divisão do trabalho, a coleta e análise dos dados.

Já o Capítulo 4 (Resultados e Discussões) apresenta e debate as descobertas da pesquisa, focando-se no estudo de caso realizado, apresentando a aplicação do modelo BIM 4D.

O Capítulo 5 (Conclusões) apresenta as considerações finais da pesquisa, as recomendações obtidas com esse estudo e sugestões para trabalhos futuros.

Finalmente, são apresentadas as referências usadas para este trabalho, além dos apêndices produzidos.



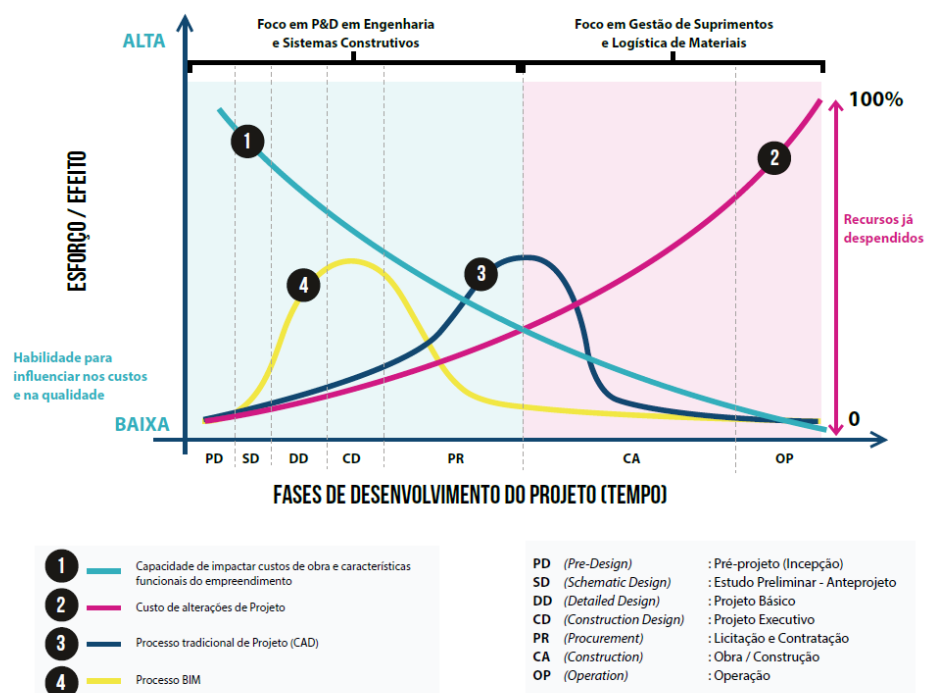
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta os conceitos e contexto geral sobre BIM (*Building Information Modeling*), assim como uma explanação sobre os princípios da construção enxuta, com um enfoque no Planejamento e Controle da Produção (PCP), utilizando o Sistema *Last Planner* (SLP). Por fim, a integração BIM/*Lean* é abordada.

### 2.1 BIM (Building Information Modeling)

De acordo com Eastman *et al.* (2011), *Building Information Modeling* (BIM) consiste em um modelo virtual preciso de uma edificação, construído de forma digital. Este modelo seria resultado do fluxo de informações obtido ao longo do avanço do projeto. Segundo os autores, o tradicional método de implementação de uma edificação, utilizando o CAD (*Computer Aided Design*), deixa os responsáveis vulneráveis a diversos tipos de erros, além de resultar em custos adicionais ao longo do processo e atrasos. Esse atraso, por exemplo, ocorre pela não automatização do processo, demandando muito tempo dos projetistas para gerar novas informações, caso o projeto tenha sido alterado.

Figura 1– Comparação entre o processo tradicional no CAD e o processo BIM

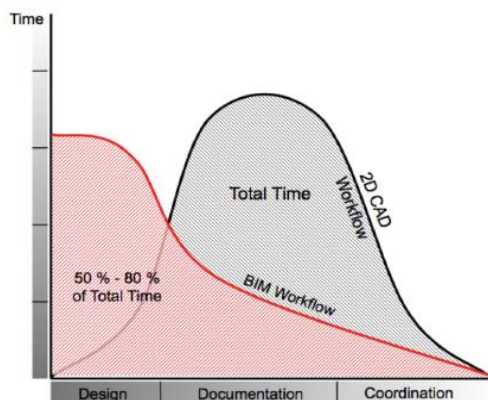


Fonte: CBIC (2016).

Na Figura 1, pode-se ilustrar o que foi dito anteriormente. O processo utilizando o BIM demanda muito mais tempo e esforço nas etapas de projeto básico e executivo, focando na concepção, pesquisa e desenvolvimento de sistemas e soluções construtivas. Dessa forma, há mais oportunidades de reduzir custos e definir racionalizações. Enquanto no processo utilizando o CAD, o maior esforço está nas etapas de contratação e obra. Além disso, à medida que etapas do processo evoluem, a capacidade de influência nos custos e na qualidade diminui e, principalmente, quanto maior o estágio da obra, mais caro será o custo de alterações, se necessário.

Oliveira (2014) mostra através da Figura 2 que, pelo processo tradicional no CAD, o projeto é feito rapidamente e o processo de detalhamento e construção é mais demorado, enquanto na plataforma BIM até 80% do tempo total é despendido na elaboração do projeto, já que é neste tempo que ocorrem a maioria das definições e alinhamento. Desse modo, os problemas são identificados antes da fase de execução e solucionados mais eficientemente e a um menor custo.

Figura 2– Tempo de Projeto BIM x CAD (GRAPHISOFT)



Fonte: Oliveira (2014).

Segundo Babic *et al* (2009), o BIM serve como uma plataforma de integração de diferentes perspectivas que antes eram informações desassociadas. A plataforma é considerada, então, o centralizador das informações, de forma a tornar o processo mais transparente, interoperável (se comunica de forma transparente com outros sistemas), e, conseqüentemente, tornando o planejamento mais preciso. Portanto, o atraso mencionado como exemplo no parágrafo acima ocorre com menos frequência se utilizada a plataforma.

O volume 1 da Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras (2016) diz que uma forma de entender o conceito de BIM é diferenciando daquilo que não é BIM, como:

1. Nem todos os *softwares* 3D podem ser considerados BIM, mas para ser BIM é necessário que seja 3D;
2. Os *softwares* que não extraem informações (como quantitativos) nem atualizam automaticamente (como seus cortes e seus relatórios) não podem ser considerados BIM;
3. Modelagens 3D que não utilizam objetos paramétricos e inteligentes, ou seja, não se atualizam automaticamente, não são consideradas BIM;
4. As soluções que não operam como gestores de informações e dados também não podem ser consideradas modelos BIM;

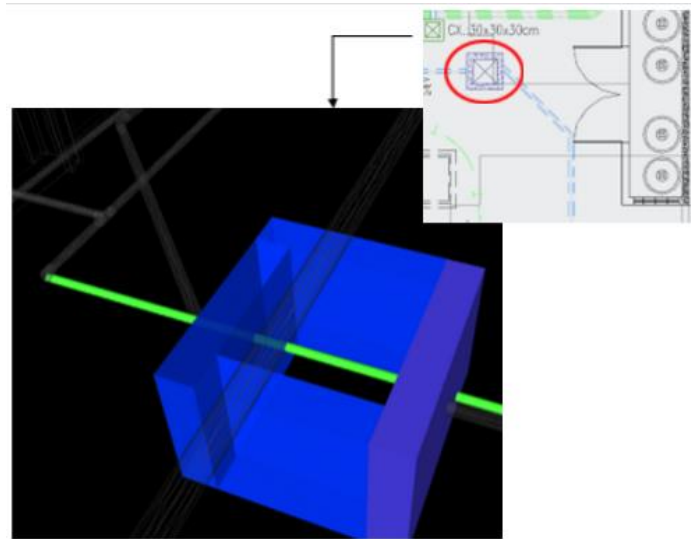
Sacks *et al.* (2010) compilam as principais funcionalidades desse tipo de modelagem, sendo elas:

1. Visualização de forma para avaliação estética e funcional: realismo do modelo 3D;
2. Geração rápida de múltiplas opções de projeto, utilizando-se de objetos paramétricos e inteligentes;
3. Uso dos dados gerados pelo modelo para análise de desempenho da construção, como análise energética e análise de custo;
4. Manutenção da informação e da integridade do modelo: a integridade geométrica ainda é melhorada com a utilização de *softwares* para detecção de choques físicos entre as atividades (Figura 3);
5. Geração automática de desenhos e documentos, além da possibilidade de extração de quantidades (Figura 4);
6. Possibilidade de colaboração nas etapas de projeto e construção, podendo ser uma colaboração interna, dentro de uma mesma empresa, ou externa;
7. Geração e avaliação rápida de alternativas de planejamento da construção, como modelos 4D de visualização de cronogramas da construção;
8. Comunicação *online*/eletrônica: não somente comunicação de projetos, mas também sistemas sofisticados que integram a informação do produto com informações de processos retiradas do sistema de informações da empresa. Essas ferramentas proporcionam a visualização gráfica do processo e do status

do produto, facilitando a entrega das informações necessárias aos trabalhadores que irão executar a atividade. Um exemplo de ferramenta é o *KanBIM*, explanado posteriormente;

9. Transferência direta de informação para fabricação de materiais.

Figura 3– Exemplo de detecção de choques físicos entre atividades: tubulação de gás conflitando com caixa de inspeção.



Fonte: Autora (2017).

Figura 4– Exemplos de extrações de quantidades realizadas por soluções BIM.

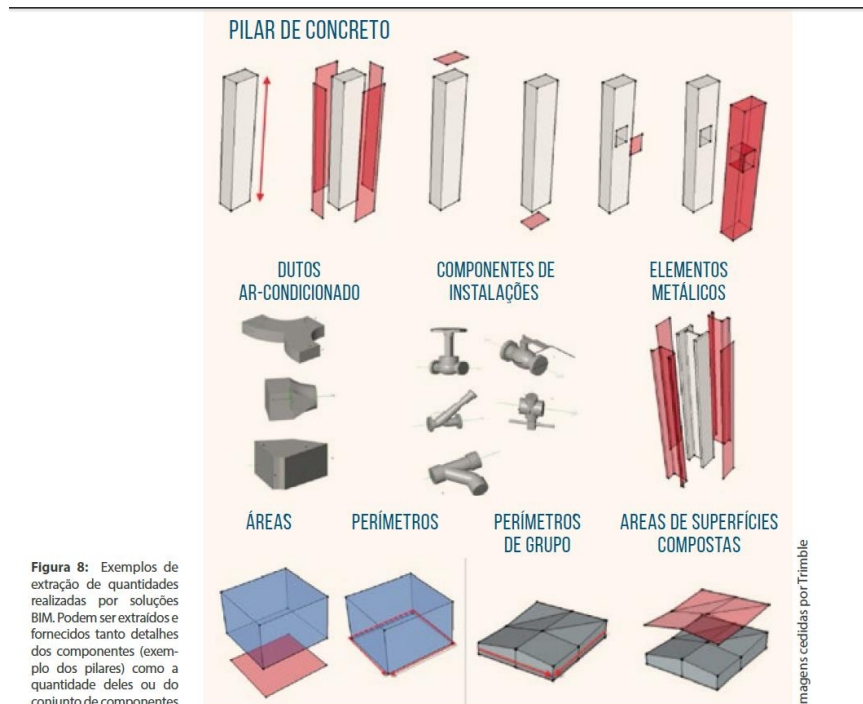


Figura 8: Exemplos de extração de quantidades realizadas por soluções BIM. Podem ser extraídos e fornecidos tanto detalhes dos componentes (exemplo dos pilares) como a quantidade deles ou do conjunto de componentes

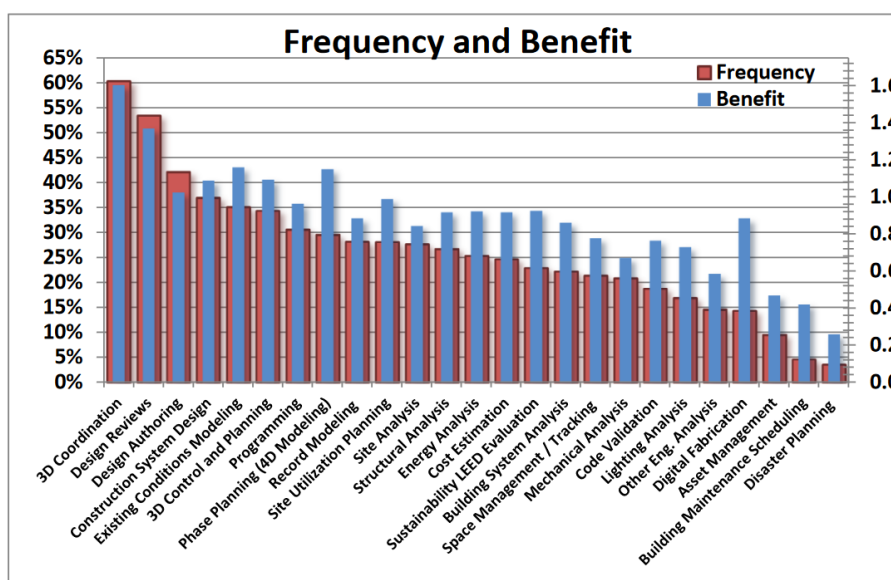
Fonte: CBIC (2016).

Além disso, segundo o volume 1 da Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras (2016), são também pontuados os seguintes benefícios: inserção de ‘regras de verificação’, registrar e controlar visualmente as mudanças nas versões dos modelos; levar em conta o acesso para a manutenção do local que foi modelado (medidas do ser humano que precisará acessar as áreas de instalações); e a possibilidade de embasar processos de gestão de ativos;

Eastman *et al.* (2011) também citam que a tecnologia BIM pode ter muitos benefícios, como aumento da eficiência, da qualidade e da produtividade, além da redução do número de erros e incompatibilidades, o que gera uma informação mais precisa e atualizada do empreendimento, promovendo uma exposição mais visual e acessível das informações para todos os colaboradores do projeto.

Por fim, Kreider *et al.* (2010) implementaram uma pesquisa na Pensilvânia, na qual a maioria das pessoas que responderam foram arquitetos e engenheiros. Conforme mostra a Figura 5, eles classificaram e quantificaram o benefício percebido por 25 diferentes usos do BIM durante o projeto, juntamente com a frequência de utilização. Pelos dados, pode-se perceber que Coordenação 3D e Revisão de Projetos foram as atividades consideradas mais benéficas e frequentes.

Figura 5– Gráfico de barras comparando frequência de uso em relação ao benefício percebido



Fonte: Kreider *et al.* (2010).

## 2.2 Lean Construction (Construção Enxuta)

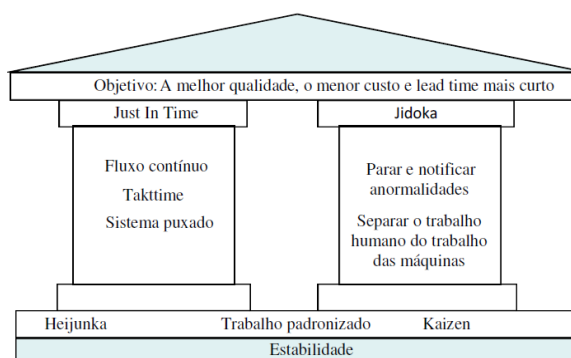
A construção enxuta surgiu a partir do trabalho do Koskela (1992) e é estimulada desde 1993 pela Conferência Anual do Grupo Internacional para a Construção Enxuta – IGLC ([www.iglc.net](http://www.iglc.net)). Essa mentalidade enxuta manifestou-se primeiramente na produção e surgiu do Sistema Toyota de Produção (ou STP) que, segundo Ohno (1988), é a absoluta eliminação das perdas. De acordo com Womack *et al.* (1992), se diz que a produção é enxuta devido à utilização de menor quantidade de subsídios se comparado à produção em massa, como menos esforço da mão de obra, menos esforço para a fabricação do produto, menor investimento em ferramentas de trabalho, menor tempo para efetuar o serviço, menor estoque de materiais e menores defeitos dos produtos.

Analisando a Figura 6 e para melhor entender a dinâmica do STP, conforme compilam Mota e Alves (2008), a estabilidade é a base na qual todo o sistema de produção enxuta é construído e, por meio do *Heijunka* (nivelamento da produção), do trabalho padronizado e do *Kaizen* (melhoria contínua), ela é a fundação do STP na qual se apoia os dois pilares do sistema: *Just in Time* e *Jidoka* (autonomação). Dessa forma, o objetivo do sistema é entregar um produto para o cliente com melhor qualidade, menor custo e em menor tempo. Dentro dos pilares estão os conceitos de *Just in Time* (fluxo contínuo, *takt time* e sistema puxado) e *Jidoka* (parar e notificar anormalidades e separar o trabalho humano do trabalho das máquinas).

De acordo com Alves *et al.* (2009)

*Heijunka* refere-se a nivelar o fluxo de trabalho de um sistema de produção e equilibrar/distribuir a carga e a capacidade. O trabalho padronizado ajuda a estabilidade do sistema assegurando (ou pelo menos contribuindo à) uma variação mínima quando as atividades são realizadas e aumentando a previsibilidade de um sistema. O trabalho é sempre realizado da mesma maneira até que um esforço *Kaizen* surja e melhorias no padrão sejam feitas.

Figura 6– A Casa da Toyota



Fonte: Adaptado de The Lean Enterprise Institute (2003).

Segundo Ohno (1988), o *Just in Time* consiste em somente produzir aquilo que é necessário, no momento que foi solicitado, de forma a atingir idealmente um estoque zero. Ou seja, esse princípio visa à eliminação de desperdícios, principalmente por superprodução e estoques, atividades estas que dificultam o estabelecimento do fluxo contínuo (ALVES, 2009).

O outro pilar da Casa da Toyota, *Jidoka*, consiste na autonomação. Este princípio representa a automação com um toque humano. Apesar de produtiva, a utilização da automação para produção pode se tornar negativa, caso ocorra algum problema nas máquinas que estão trabalhando. Caso não existisse uma checagem automática de defeitos, a produção não iria estar em sintonia com os princípios do STP, pois os produtos gerados estariam danificados até alguém perceber que algo estava errado. Portanto, a Toyota enfatiza a autonomação em detrimento da automação, de modo a existir um dispositivo de segurança, acoplado em cada máquina, que houvesse independência em parar a produção, caso um erro fosse detectado (OHNO, 1988).

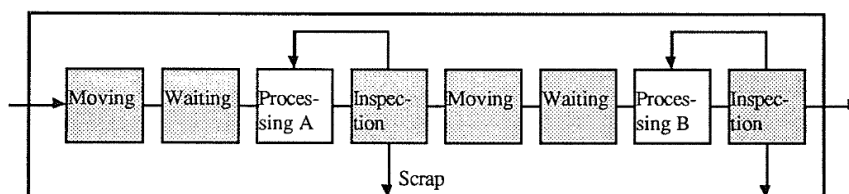
### **2.2.1 Princípios da Construção Enxuta**

Muitos autores já expuseram em seus trabalhos alguns princípios da Construção Enxuta, sendo o trabalho de Koskela (1992) a fundação de praticamente todos eles. Abaixo serão apresentados alguns desses princípios com base nos autores Koskela (1992), Alves (2010) e Sacks *et al.* (2010) para que, posteriormente, seja possível ligar os princípios da construção enxuta aos benefícios do BIM.

#### **2.2.1.1 Retirar ou Reduzir o que Não Agrega Valor**

As atividades que agregam valor ao cliente são aquelas que o cliente reconhece serem importantes e que o estimulam a pagar pelo produto, ou seja, atividades que realmente convertem o material para o produto final. Em um fluxo de processos de um produto, todas as atividades consomem tempo e recursos (sejam estes financeiros ou físicos), porém, apenas atividades de conversão acrescentam valor ao produto. Atividades de fluxo, como movimentação de material, espera e inspeção, como mostra a Figura 7, são atividades que não darão nenhum retorno direto para o cliente. Portanto, apesar de importantes para que o produto final seja gerado, estas atividades devem ser otimizadas, de forma a reduzi-las ou eliminá-las do processo (KOSKELA, 1992).

Figura 7– Produção como um fluxo de processos. As caixas sombreadas representam as atividades que não agregam valor ao processo.



Fonte: Koskela (1992).

#### 2.2.1.2 Atender Requisitos do Cliente

Inicialmente, é necessário que os clientes sejam identificados. O cliente pode ser tanto o cliente final como a próxima atividade. Além disso, não só os clientes externos devem ser levados em consideração, mas também os próprios funcionários da empresa (clientes internos) devem ter suas necessidades reconhecidas (ALVES, 2010). Realizar os requisitos do cliente agrega valor

#### 2.2.1.3 Reduzir Variabilidade

Para tornar os processos uniformes, aumentando a previsibilidade e a confiabilidade deles, é importante que as incertezas sejam reduzidas, portanto suas variabilidades, confirmando a fundação da Casa da Toyota (Figura 6), a estabilidade. Segundo Alves (2010), a utilização do Sistema *Last Planner*, que será explicado posteriormente, tem como meta a estabilização do fluxo de trabalho das equipes de produção, tornando o processo menos variável.

#### 2.2.1.4 Reduzir Tempo de Ciclo

Sendo o tempo de ciclo composto de tempo de processamento, tempo de inspeção, tempo de espera e tempo de movimentação, deve-se reduzir o tempo das atividades que não agregam valor (KOSKELA, 1992). Na construção, essa redução pode ser obtida pela diminuição da movimentação de materiais em obra, a partir da organização dos fluxos físicos; diminuição do esforço da equipe ao realizar tarefas em paralelo em vez de em ordem sequencial; entre outras atividades (ALVES, 2010).



#### *2.2.1.5 Reduzir Tamanhos de Lotes*

A diminuição do tamanho dos lotes diminuirá significativamente o nível de dificuldade da atividade e, conseqüentemente, o tempo utilizado para executar a atividade e a quantidade de erros (ALVES, 2010), ou seja, reduz as atividades que não agregam valor ao produto final. Na construção civil, a redução de tamanho de lotes pode se dar, por exemplo, na escolha de um lote de apartamento em detrimento de um lote de pavimento (SACKS *et al*, 2010).

#### *2.2.1.6 Aumentar Flexibilidade*

Cada vez mais é necessário que o sistema produtivo esteja organizado para atender às variabilidades trazidas pela alteração do produto pelo cliente, pois, principalmente na construção civil, o cliente não está mais satisfeito com produtos idênticos, mas visa a uma personalização do seu próprio produto, como o apartamento. Essa flexibilização deve estar programada desde a etapa de projeto, sendo prevista a contratação de equipes multifuncionais, por exemplo (KOSKELA, 1992). Além disso, Sacks *et al*. consideram um outro princípio da construção enxuta, a captura de requisitos abrangentes para que isto gere valor aos clientes.

#### *2.2.1.7 Uso do Gerenciamento Visual*

Aumentar a transparência do processo beneficia todos os envolvidos nele, pois permite a comunicação entre diversos setores, diminuindo a falta de comunicação e os erros conseqüentes dela (KOSKELA, 1992). Segundo Sacks *et al* (2010), ao visualizar o processo, o funcionário proporciona acesso e aceitação da padronização, além do entendimento do que pode ser melhorado. Percebe-se, então, através da comunicação visual, a prática de outros dois princípios da construção enxuta. Na construção civil, a adoção de placas e sinalizadores, organização do local de trabalho para que tudo possa ser facilmente detectado, utilização de cores e indicadores para chamar atenção e uso de quadros informativos para cada equipe de trabalho são algumas formas simples de adoção deste princípio no dia a dia (ALVES, 2000).

#### *2.2.1.8 Benchmarking*

Segundo Camp (1989), um dos primeiros autores sobre processo de *benchmarking*, ela é uma ferramenta de apoio a qual busca pelas melhores práticas industriais que conduzem a uma prática superior, ou seja, a finalidade do *benchmarking* é verificar as práticas das empresas de desempenho superior e, não copiar, mas incorporar suas práticas por meio de inovações visando à melhoria desejada. Além disso, segundo Lin (1999), o *benchmarking* é uma prática empresarial que interfere diretamente na empresa, sendo uma das ferramentas de gerenciamento mais utilizada.

De acordo com Costa (2005), para que o processo de *benchmarking* seja eficaz e eficiente é necessário que haja um ambiente de aprendizado, o que pode ser criado pela elaboração dos Clubes de *Benchmarking*. Estes clubes consistem em um grupo de empresas da mesma área que compartilham suas experiências e comparam seus resultados.

Alves (2010) ainda diz que “[...] quanto mais concretas forem essas práticas, mais fácil será de copiá-las, por exemplo o uso de dispositivos visuais como o *andon* e *kanbans*, ferramentas manuais, procedimentos”.

#### 2.2.1.9 Selecionar um Controle de Produção Adequado

Segundo Sacks *et al* (2010), o nivelamento da produção estimula uma produção puxada e a utilização do Sistema *Last Planner*, abordado no próximo tópico, é uma maneira de planejar e controlar um sistema puxado. A importância do controle do processo global está no fato de que ele deve ser medido para que possa ser gerenciável.

#### 2.2.1.10 Outros Princípios

Alguns outros princípios são: Padronização (diminuindo variação e tempo de ciclo), Melhoria Contínua no Processo (*Kaizen*), Melhorias no Processo Produtivo (diminuição no tempo e nos recursos gastos no processo), Foco na Concepção do Projeto, Verificação e Validação de Especificações, Ir ao *Gemba* (ver pessoalmente o andamento do processo)

## 2.3 Planejamento e Controle da Produção - Sistema *Last Planner* (SLP)

Segundo Ballard (2000), considerar o processo de construção como um fluxo de informações e materiais possibilita a redução de desperdício, minimização das informações de tempo ou gasto de materiais esperando para ser usado, do tempo gasto com a inspeção de informações ou materiais para a conformidade com os requisitos, do tempo gasto em refazer informações ou materiais para alcançar a conformidade, e de tempo gasto movendo informações ou materiais de um especialista para outro.

Sendo, então, a construção civil considerada um fluxo de informações e materiais, torna-se essencial o planejamento e controle da produção, objetivando-se o aumento da produtividade do setor, a diminuição das suas perdas e o aumento da qualidade dos seus produtos (FORMOSO, 2001). Ainda segundo este autor, planejamento é um processo gerencial no qual o responsável estabelece metas e formas de atingir esses objetivos, além de elaborar procedimentos de controle.

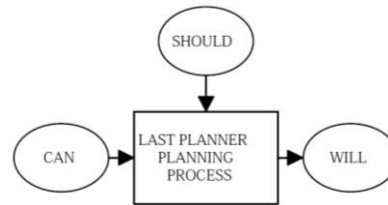
Pelo planejamento tradicional, Neale e Neale (1986) definem os três níveis hierárquicos na gestão de projetos, sendo eles: Nível Estratégico (estratégias para atingir os objetivos do empreendimento), Nível Tático (obtenção e utilização dos recursos necessários para atingir os objetivos) e Nível Operacional (detalhes das atividades a serem realizadas) (BERNARDES, 2001).

Formoso (2001) diz que o grau de detalhamento de cada nível hierárquico depende da fase da obra, pois cada fase tem um grau de incerteza atribuído, e que a elaboração deste plano não deve estar associada somente a um funcionário, mas deve ser um trabalho feito em equipe, incluindo diretoria, gerência, sala de engenharia, mestres de obras, encarregados, terceirizados, estagiários e líderes de equipes.

O autor sugere um modelo geral para o processo de planejamento que consiste em 5 estágios (etapas de preparação do processo, planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo, planejamento de curto prazo e avaliação do processo), mas os resume em 3 níveis hierárquicos: planejamento de longo prazo (*Master Plan*), de médio prazo (*Lookahead*) e de curto prazo (*Weekly Work Plan*), conforme mostra Ballard (2000).

Ballard (2000) inicia explicando que para um processo de planejamento do *Last Planner* ser eficaz e eficiente é necessário alinhar aquilo que deve ser feito (*should*) com o que pode ser feito (*can*), para assim obter o que irá (*will*) ser feito (Figura 8). Este é um ponto importante nesta filosofia, pois a não consideração dos obstáculos pode resultar no abandono do planejamento que direciona a produção real.

Figura 8– Formação das atribuições processo de planejamento do *Last Planner*.



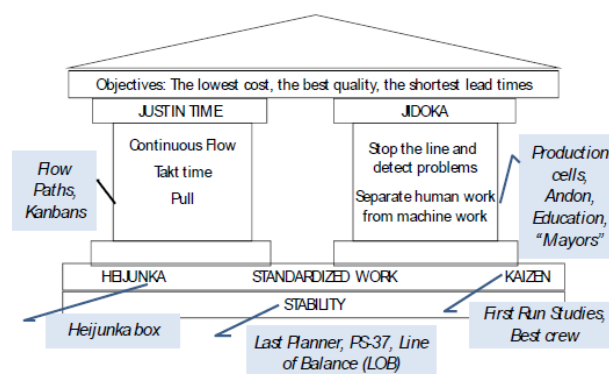
Fonte: Ballard (2000).

O sistema de controle de produção *Last Planner* é uma filosofia que consiste em regras e procedimentos, além de ferramentas para facilitar a implementação desses procedimentos. Controle da unidade da produção e Controle de Fluxo de trabalho são os dois componentes do sistema. Portanto, o objetivo geral do sistema é de melhor planejar as atividades para os funcionários, através da aprendizagem contínua e ação corretiva e traçar um fluxo de trabalho com um melhor sequenciamento e uma melhor produtividade (BALLARD, 2000).

Segundo Biotto (2012), “O SLP se difere nos níveis tático e operacional por proteger a produção contra incertezas e variabilidades inerentes aos sistemas produtivos, e promover o comprometimento dos operários que executam as tarefas”.

Alves *et al.* (2009) apresentam a Figura 9, adaptada de LEI (2003), onde se pode verificar quais ferramentas apoiam os conceitos indicados na Casa da Toyota. Dentre essas ferramentas, o *Last Planner* está diretamente ligado à estabilidade da casa, pois, ao planejar e controlar o sistema, seus processos e suas saídas podem ser previsíveis.

Figura 9– A Casa da Toyota e as inovações para apoiar à implementação da construção enxuta.

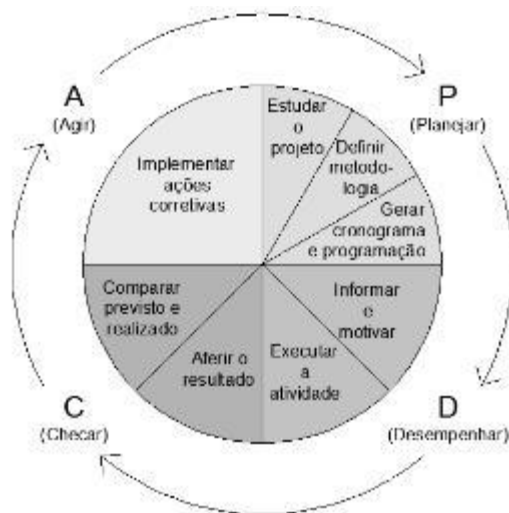


Fonte: Alves *et al.* (2009).

Ademais, parte do processo do *Last Planner* é de natureza do PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) que consiste em Planejar, Desempenhar, Checar e Agir (Figura 10). Este ciclo

promove a contínua revisão dos objetivos, planos e resultados, motivando a melhora contínua (Fauchier; Alves, 2013).

Figura 10– Ciclo PDCA.



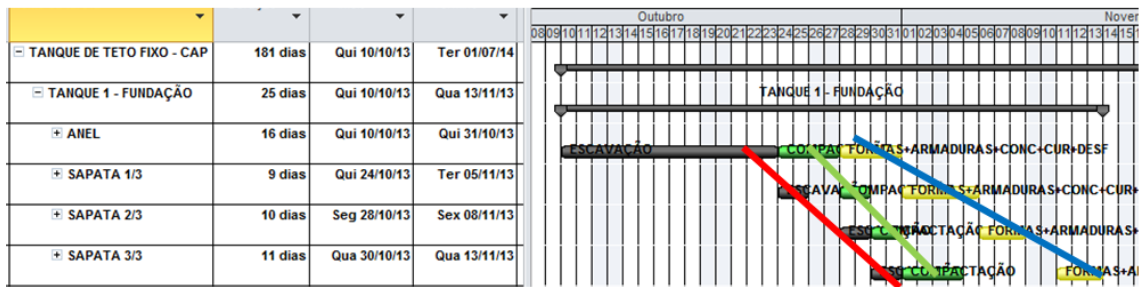
Fonte: Mattos (2010).

### 2.3.1 Planejamento de Longo Prazo (Master Plan)

Após estabelecer os objetivos gerais do empreendimento (planejamento estratégico), o Planejamento de Longo Prazo consiste em apresentar o ritmo de produção e de fluxo de despesas da obra. Esta etapa ocorre no início da obra e, normalmente, não exige um grande detalhamento, mas sim uma visão geral, necessitando ser aprovada pela alta gerência. Para ela é fundamental: Coletar informações para geração do plano mestre; Gerar fluxo de caixa (dessa forma os indicadores utilizados no início do empreendimento para verificação da viabilidade serão recalculados); Preparar plano (utilização de Linha de Balanço para apresentar o fluxo de trabalho); Difundir o plano mestre por meio de reunião e impressões; Programar recursos, como aquisições, aluguéis e contratações; Difundir programação de recursos; (FORMOSO, 2001).

Observa-se, na Figura 11, um exemplo de planejamento de longo prazo utilizando a ferramenta linha de balanço.

Figura 11– Exemplo de Linha de Balanço Base feita para um planejamento de longo prazo.



Fonte: Carneiro (2013).

### 2.3.2 Planejamento de Médio Prazo (Lookahead)

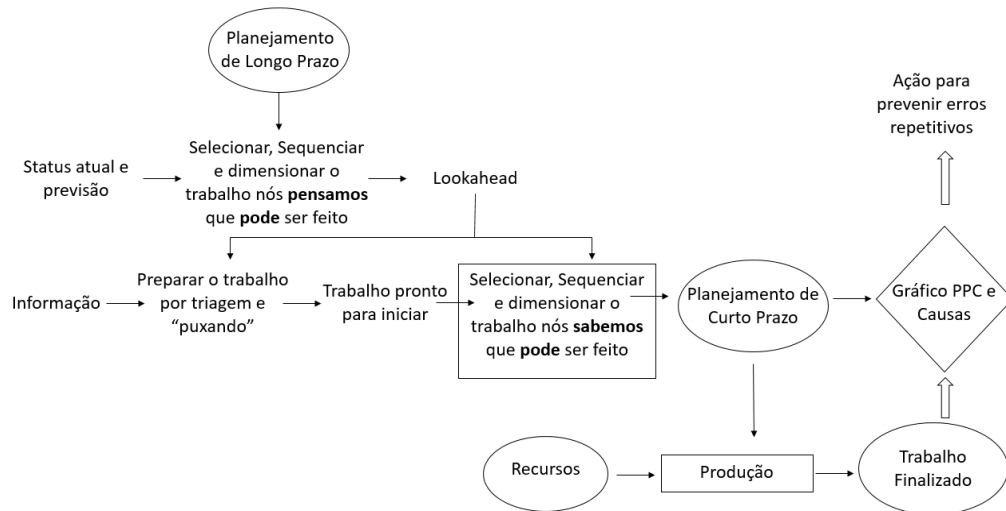
Este planejamento vincula o plano de longo prazo com o de curto prazo. De acordo com Ballard (2000), esse planejamento tem o objetivo de controlar o fluxo de trabalho. Os serviços contidos no planejamento de longo prazo serão detalhados e suas restrições serão elencadas para que possam ser posteriormente removidas. Elencar as restrições das atividades consiste em analisar o que precisa ser adquirido ou resolvido para que os pacotes de trabalho sejam realizados e quem é o responsável por cada restrição. O objetivo principal desse nível de planejamento é que essas restrições sejam removidas, o que permite que as atividades sejam programadas no planejamento de curto prazo (FORMOSO, 2001).

Ballard (2000) também cita algumas funções do *Lookahead*, como: Configurar sequência e taxa de fluxo de trabalho; Combinar fluxo de trabalho e capacidade; Decompor atividades do plano de longo prazo em pacotes de trabalho e operações; Desenvolver métodos detalhados para a execução do trabalho; Manter uma reserva de trabalho pronto para iniciar; Atualizar e revisar planejamento de maior nível se necessário;

Segundo Bhatla e Leite (2012), o *Last Planner* é considerado um sistema que “puxa” atividades. Ele utiliza-se de ferramentas *Just-In-Time*, pois todos os responsáveis decidem em conjunto o planejamento *Lookahead*, enquanto a ferramenta de melhoria contínua é desenvolvida ao longo dessas reuniões de planejamento (Figura 12).

Pela Figura 13, pode-se verificar uma maneira de elencar as restrições da obra. No exemplo analisado, as reuniões de restrições ocorrem mensalmente e nelas são analisadas as atividades que começarão no próximo trimestre e, assim, suas restrições são listadas. Posteriormente o relatório abaixo é gerado e nele se encontram os responsáveis e as datas limites para remoção das restrições. Aquelas que estiverem em atraso, ficarão na cor vermelha.

Figura 12 – Sistema *Last Planner* com ênfase no planejamento de médio prazo.



Fonte: Adaptação de Ballard (2000) feita pela autora.

Figura 13– Exemplo de relatório de restrições.

ILUMINAÇÃO								
Loteamento - Áreas Comuns						Data de Início Planejada		29/06/2017
Cod.	Local	Tipo de Restrição	St	Restrição	Observação	Data Limite	Resolvido	Responsável
001	Lote 02 - Praça/Churrasqueira	Mão de Obra - Instalações	●	Fechar contrato de fornecimento de luminárias		30/05/2017		Wagner
001	Lote 11 - Praça/Churrasqueira	Outros	●	Fechar contrato de luminárias das áreas comuns.	Data anterior 30/03/17	30/05/2017		Wagner

PLAYGROUND								
Loteamento - Áreas Comuns						Data de Início Planejada		02/08/2017
Cod.	Local	Tipo de Restrição	St	Restrição	Observação	Data Limite	Resolvido	Responsável
001	Lote 04 - Playground	Outros	●	Fechar contrato do playground	Data anterior 30/03/17	31/05/2017		Wagner

AMBIENTAÇÃO LAJE JARDIM								
Loteamento - Áreas Comuns						Data de Início Planejada		17/08/2017
Cod.	Local	Tipo de Restrição	St	Restrição	Observação	Data Limite	Resolvido	Responsável
001	Lote 05 - Guarita 02/Jardins	Paisagismo	●	Compra de grama sintética para lajes das guaritas	Data Anterior 15/05/2017	30/05/2017	18/05/2017	Wagner

Fonte: Aval Engenharia (2017).

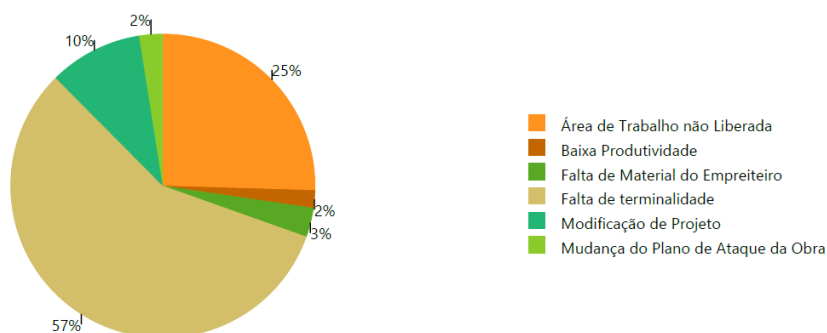
### 2.3.3 Planejamento de Curto Prazo (Weekly Work Plan)

Este planejamento consiste no operacional e vai guiar diretamente a execução da obra, pois, como as restrições já foram removidas, todas as atividades em questão podem ser realizadas, gerando uma estabilidade no fluxo de trabalho. Dessa forma, a equipe de produção nunca estará sobrecarregada, pois eles farão apenas aquilo que foi prometido. Caso haja excesso de tarefa, somente as mais prioritárias serão feitas, enquanto as menos prioritárias ficarão em um “estoque de atividades substitutas”.

Em cada atividade são atribuídos recursos físicos, como mão de obra, equipamentos e ferramentas. A eficácia do planejamento depende do comprometimento das equipes que foram alocadas para executar as tarefas, o que pode ser estimulado por reuniões periódicas com as equipes de produção. Por isso, este nível de planejamento pode ser chamado também de planejamento de comprometimento (FORMOSO, 2001).

Quando as tarefas que foram planejadas para o período não são executadas, pode-se utilizar do indicador Percentual de Planejamento Concluído (PPC) para investigar as causas do não cumprimento dessas metas. Este indicador representa a relação das atividades concluídas e das atividades planejadas para o período. A Figura 14 contém um exemplo de gráfico de causas e a Figura 15 contém o relatório preenchido com as atividades que não foram finalizadas e o motivo pelo qual houve essa não execução.

Figura 14– Exemplo de relatório de causas do não cumprimento das atividades planejadas.



Fonte: Aval Engenharia (2017).

Figura 15– Exemplo de relatório de causas do não cumprimento das atividades planejadas.

Descrição	Local	Unidade	Início Real	Término Real	%	Problema
103.Contrapiso e Manta de Isolamento Acustico	Copa/Sala Condominio	Pilotis - Torre	27/10/2016		90,00	Falta de terminalidade
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. em Granito)		Térreo - Torre	24/04/2017		40,00	Falta de terminalidade
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. em Granito)	8º Pavimento	Torre Civil	01/07/2016		99,00	Falta de terminalidade
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. em Granito)	Subsolo 02 (Inferior)	Áreas Comuns - Civil	22/05/2017		75,00	Falta de terminalidade
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. Em Granito) - Interno	Briquedoteca	Pilotis - Torre	26/01/2017		50,00	Mudança do Plano de Ataque da Obra
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. Em Granito) - Interno	Copa/Sala Condominio	Pilotis - Torre			0,00	Área de Trabalho não Liberada
109.Revest Cerâmicos / Porcelanato (Incluindo Acab. Em Granito) - Interno	Ginástica	Pilotis - Torre	26/01/2017		50,00	Mudança do Plano de Ataque da Obra
110.Revestimento Cerâmico do Hall/Circulação / Chapim		Térreo - Torre	17/04/2017		70,00	Falta de terminalidade
110.Revestimento Cerâmico do Hall/Circulação / Chapim	Subsolo 02 (Inferior)	Áreas Comuns - Civil	27/03/2017		95,00	Falta de terminalidade

Fonte: Aval Engenharia (2017).



Após entender o sistema *Last Planner*, pode-se concluir que aqueles que implementam esse sistema devem ou irão possuir características de liderança, trabalho em equipe e confiança. Esses comportamentos ainda vão ser fomentados por um local de trabalho claro e visual, promovendo o princípio da transparência (FAUCHIER; ALVES, 2013). Além disso, os princípios de melhoria contínua, comportamento orientado por objetivos e pensamento sistemático também são estimulados quando se trabalha com esse sistema, pois o time irá identificar o que agrega valor ao cliente, irá definir os pacotes de trabalho e a lógica de trabalho conforme esse produto final.

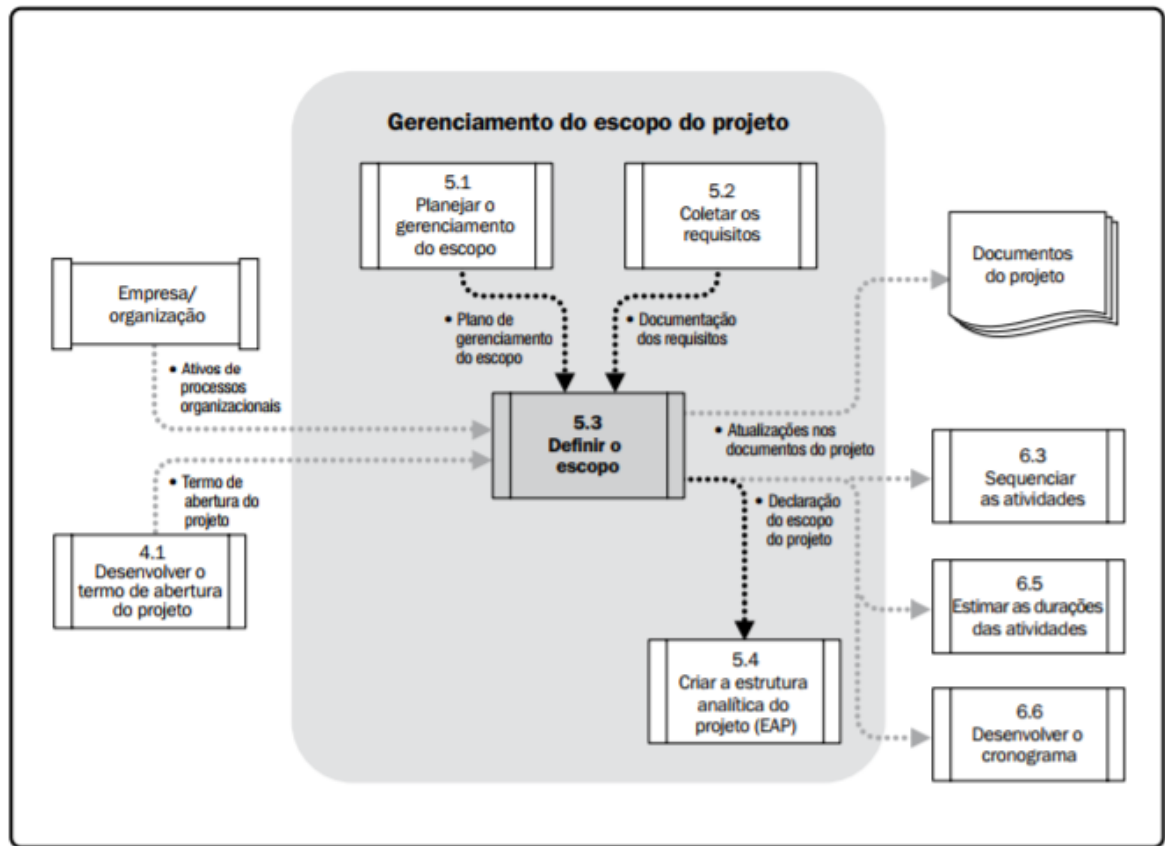
### **2.3.4 Estrutura Analítica de Projeto**

O PMI (2013) enfatiza a necessidade de um gerenciamento do escopo do projeto para um bom planejamento, sendo esse escopo o conjunto de todo o trabalho necessário para que seja possível finalizar o projeto com sucesso. O gerenciamento inclui os seguintes processos: Planejar o gerenciamento do escopo -> Coletar os requisitos -> Definir escopo -> Criar a Estrutura Analítica do Projeto (EAP) -> Validar o escopo -> Controlar o escopo.

Segundo Almeida (2006), um planejamento coerente exige um conhecimento do projeto e uma análise dos seus elementos constituintes. A EAP (Estrutura Analítica do Projeto) é um recurso utilizado para obter uma visão estruturada do que deve ser entregue, sendo divididos, de uma forma prática, os elementos do projeto para definir o trabalho a ser realizado. Essa subdivisão das entregas é uma decomposição hierárquica do escopo total do trabalho (do mais geral para o mais específico) e é importante para que o projeto seja mais facilmente gerenciável (PMI, 2013).

Há Abaixo dois diagramas do fluxo de dados do processo: para definição do escopo e para criar uma EAP. No primeiro diagrama é possível encontrar os dados de entrada indispensáveis para a definição do escopo do projeto, como o termo de abertura e informações da empresa, além dos dados de saída, sendo estes a EAP, o sequenciamento e a duração das atividades e o cronograma do projeto. Segundo Mattos (2010), não é possível gerenciar um projeto sem que as suas fronteiras estejam bem definidas, ou seja, sem que seu escopo esteja definido.

Figura 16– Diagrama do fluxo de dados do processo Definir Escopo.



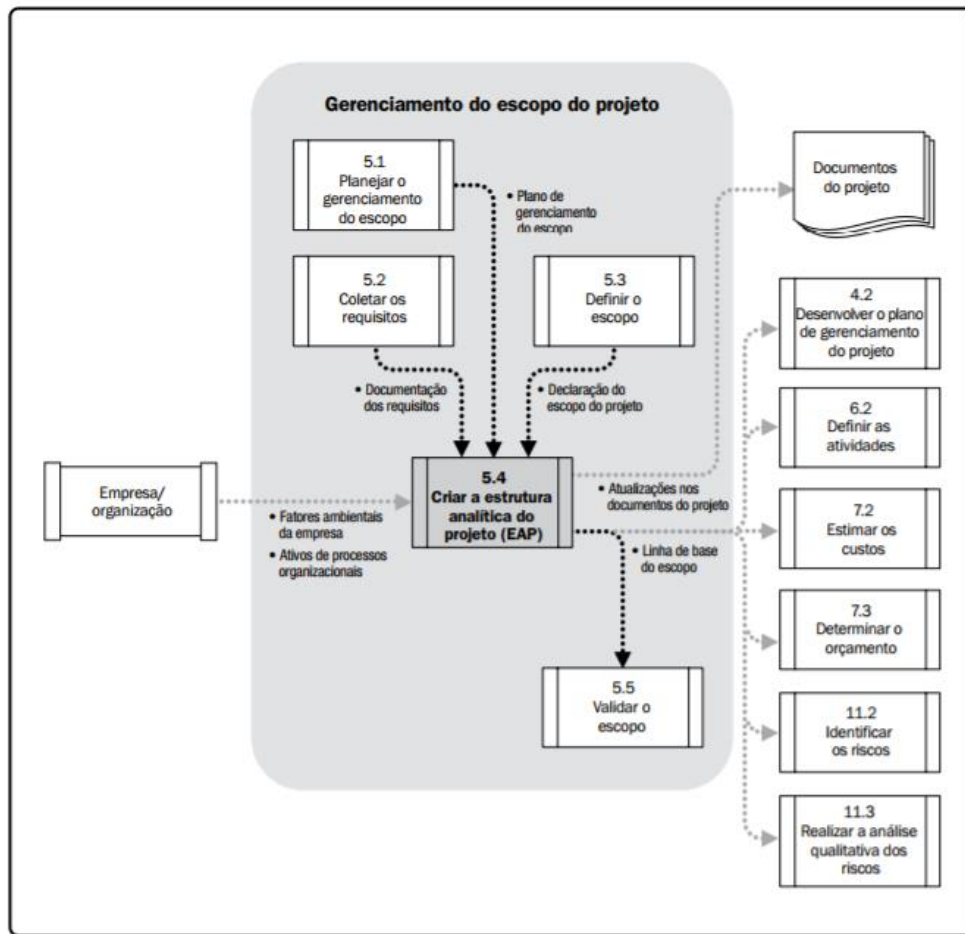
Fonte: PMI (2013).

Pelo segundo diagrama (Figura 17), após a definição do escopo, é possível a criação da EAP, sendo seus dados de saída, por exemplo, a definição das atividades, a estimativa dos custos e definição do orçamento (PMI, 2013).

Segundo Almeida (2006), a EAP pode ter quantos níveis necessário, sendo 4 níveis o número mais recomendado, pois o quarto nível é referente aos pacotes de trabalho, a partir dos quais as tarefas são inseridas. O quarto nível caracteriza os tipos e as quantidades de serviço gerenciáveis para fins de planejamento (juntamente com orçamentação), de programação e de controle, com um período de duração compreensível e de forma a representar uma parte ou o todo acabado seja do projeto ou da obra após sua execução.

Portanto, os pacotes de trabalho são as atividades definidas que, em conjunto, contemplam todas as etapas de execução da obra. Os pacotes de trabalho são formados por todos os serviços necessários para a realização de determinada atividade, pelo quantitativo desses serviços, pelo índice de produtividade da equipe que irá executar o pacote e pela quantidade de mão de obra considerada para aquele pacote.

Figura 17– Diagrama do fluxo de dados do processo Criar EAP.



Fonte: PMI (2013).

### 2.3.5 Técnicas de Planejamento – Linha de Balanço

A linha de balanço (LB), ou diagrama tempo-caminho, é uma técnica para projetos que tenham unidades repetitivas, sendo esses serviços repetitivos representados por uma reta traçada em um gráfico tempo-progresso, composto pelo tempo no eixo horizontal e pela unidade de repetição no eixo vertical. A duração da atividade é visualizada pelo comprimento da barra das atividades e a velocidade de execução (ritmo de produção) é verificada pela inclinação da linha (MATTOS, 2010). A Figura 11, exemplificada anteriormente, mostra um planejamento utilizando a técnica de linha de balanço.

Segundo Maziero (1990), existem alguns princípios do Método da Linha de Balanço, entre eles:

- Determinar uma razão de produção, sendo uma relação entre o número de unidades a serem construídas e o tempo utilizado para a sua construção;

- b) Manter esse ritmo de trabalho constante;
- c) Manter a movimentação de mão de obra e equipamentos contínuos;
- d) Tirar benefícios da repetitividade do trabalho.

Queiroz (2014) sintetiza que a Linha de Balanço é uma ferramenta de fácil visualização e compreensão, permitindo que o planejador obtenha um fluxo contínuo de produção, pela alocação de recursos em atividades ininterruptas, o que otimiza esses recursos. Além disso, a repetitividade proposta pela LB possibilita uma aprendizagem e melhoria contínua dos serviços, aumentando a sua qualidade e reduzindo o seu tempo de execução.

## 2.4 Integração BIM e Lean

Rischmoller *et al.* (2006) associam o valor agregado, um dos principais princípios da construção enxuta, às ferramentas de visualização computacionais avançadas (CAVT – *Computer Advanced Visualization Tools*). Os autores utilizaram vários princípios *Lean*, como arcabouço teórico, e provam que as necessidades e os desejos de um cliente, atrelados a uma visualização digital do produto e dos processos necessários para materializar um projeto de construção, podem ser cumpridos de forma sem precedentes. Eles concluem que a aplicação do CAVT resulta em redução de variabilidades e de incertezas, maiores causas de retrabalho e desperdício. Essa associação indica forte sinergia entre os princípios da construção enxuta e ferramentas de visualização.

Sacks *et al.* (2009) defendem que novas ferramentas de visualização assistidas por computador podem dar suporte a determinados princípios *Lean*, como estabilização de fluxo de trabalho, fluxo de equipes de trabalho e materiais “puxados”, controle da qualidade do processo, efetivo fluxo de informação para e do local de trabalho (comunicação padronizada), transparência no processo, entre outros. Esse suporte é dado, por exemplo, por meio de modelagem 4D (com recursos e instalações temporárias), modelagem da produção por vídeos de animações, imagens codificadas por cores para mostrar o progresso da obra, gráficos de status visual que mostram a prontidão de equipamentos, materiais, espaço e informação, etc.

Sacks *et al.* (2010) propõem 56 interações entre BIM e a construção enxuta, sendo algumas interações negativas, mas a maioria positiva. Mendes Jr *et al.* (2014) listam as interações aplicadas diretamente ao PCP e *Last Planner* (Tabela 1). Pelo alto número de interações, os autores sugerem que essa adoção deve ser feita aos poucos. Uma boa estratégia

seria definir os benefícios desejados para avançar em etapas incrementais de forma a aproveitar ainda mais as interações positivas entre as duas iniciativas.

Tabela 1– Integração BIM e Construção Enxuta aplicada ao PCP

Nº	Funcionalidade BIM	Princípio Lean	Descrição
1	Fonte única de informação	Redução de variabilidade	O modelo passa a ser um banco de dados único contendo documentos necessários à fase de projeto, construção e operação da edificação.
2	Checação de incompatibilidades físicas automatizadas	Redução do tempo de ciclo	Detalhamento de desenhos melhor especificados, sem necessidade de decisões no canteiro de obras. Aumento em produtividade
3	Geração automatizada de tarefas de construção	Redução da variabilidade e tempo de ciclo	Retira erros humanos em elaboração de cronogramas resultando em pacotes de trabalho sequenciados e passíveis de execução.
4	Simulação do processo de construção	Redução da variabilidade e tempo de ciclo e controle	Otimização de cronogramas através de simulações estocásticas e checagem em modelos BIM 4D.
5	Visualização em modelos BIM 4D	Redução da variabilidade e tempo de ciclo e gestão visual	Refino de cronograma de pacotes de trabalho e sistema de produção para suporte da produção.
6	Visualização de status do processo	Redução do tempo de ciclo, controle apropriado, gestão visual e validação	Controle e gestão através de visualização da produção, sem necessidade de coletar dados em obra. O controle fornece informações e status de cada pacote de trabalho naquele momento.
7	Comunicação online do produto e processo	Gestão visual, redução do tempo de ciclo e controle apropriado	Informações referentes a pacotes de trabalho em plano, execução e já produzidos atualizadas online para todos os envolvidos com a produção, desde encarregados até responsáveis por aquisição de recursos.

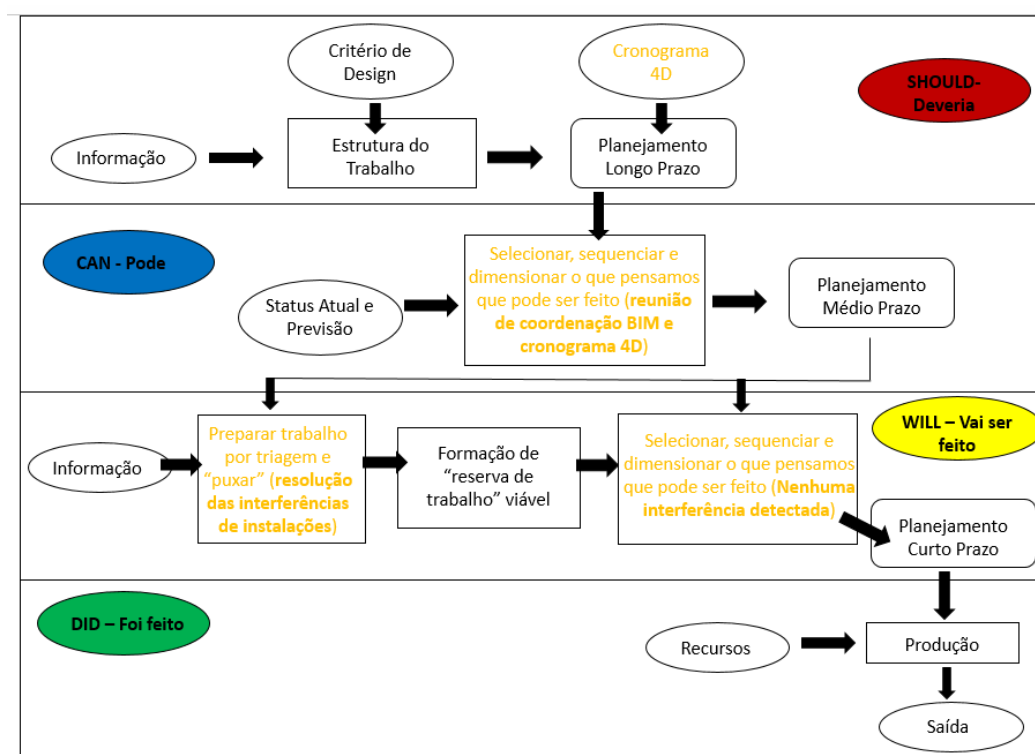
Fonte: Mendes Jr *et al.* (2014).

Como mostrado no tópico anterior, o sistema *Last Planner* possui um diferencial em relação aos sistemas tradicionais de planejamento, pois está atrelado à filosofia *Lean*, baseando-se em conceitos e princípios da Construção Enxuta (KOSKELA, 1992).

Bhatla e Leite (2012) reduzem essa interação a BIM e sistema *Last Planner*. Os autores propõem que a relação desse sistema com visualização 3D, simulação 4D e detecção de conflitos de instalações conduz a uma maior colaboração de projeto e ajuda a reduzir a variabilidade. Como os modelos BIM são armazenados *online*, a qualquer momento que houver uma dúvida ou uma necessidade de informação sobre os pacotes de trabalho, eles

estarão disponíveis. Além disso, essa combinação facilita na filtragem dos pacotes de trabalho para amadurecimento e garantia de estabilidade. Abaixo está uma estrutura de interação do LPS com as reuniões de coordenação BIM proposta pelos autores.

Figura 18– Integração BIM e LPS



Fonte: Adaptado de Bhatla e Leite (2012).

A introdução de um planejamento em uma modelagem BIM 3D a transforma em um modelo BIM 4D, o que tem importância significativa ao superar as limitações do modelo tradicional de planejamento. Nesta interação, os objetos do modelo 3D estarão associados a um cronograma. Portanto, o fluxo de atividades poderá ser visualizado ao longo do tempo e, com isso, será possível observar interferências e inviabilidades (OLIVEIRA, 2014).

Pela Figura 18 podemos verificar que o principal suporte para qualquer projeto de construção é o planejamento de longo prazo e é essencial que seja um planejamento confiável. Para aumentar essa confiabilidade, pode-se utilizar da modelagem 4D de forma a mostrar o progresso desejado do projeto sobre o seu cronograma, o que ajudará nas tomadas de decisão dos responsáveis, pois o progresso será melhor analisado. Em seguida, é necessário fazer o planejamento de médio prazo (normalmente consiste em 4 semanas), juntamente com o escopo da reunião de coordenação BIM para detectar as interferências nos diferentes sistemas. Então, o planejamento de curto prazo é desenvolvido levando em consideração o status atual,

disponibilidade de recursos e futuras exigências de projeto. A “reserva de trabalho” viável consiste em todas as atividades que realmente podem acontecer, ou seja, as atividades cujos recursos já estão disponíveis e cujas interferências já foram resolvidas. Se todas as restrições dessas atividades forem removidas, elas poderão entrar nas metas semanais (BHATLA; LEITE, 2012).

A forma de modelagem 4D mais simples consiste em atrelar um modelo 3D a datas, podendo-se utilizar filtros e simular o progresso da obra, além da utilização de cores para representar cada etapa. Biotto *et al.* (2015) mostram que é pela visualização do modelo 4D que se pode verificar a necessidade de ajustes no modelo, nas datas das atividades ou a necessidade de novas alternativas para os cenários propostos. Além disso, os autores destacam a utilização do BIM 4D não somente para os fins de visualização do planejamento, mas também para o planejamento de fluxos físicos (equipamentos de movimentação de material e pessoas), instalações provisórias e estoques.

Brito e Ferreira (2015) propuseram estratégias para representação de um modelo BIM 4D aplicado ao PCP utilizando cores e estratégias para análise e monitoramento do avanço físico da obra. Durante o estudo das táticas, foram visualizadas potencialidades da modelagem BIM 4D (Figura 19 e 20), como (a) menor esforço na visualização e interpretação do planejamento; (b) assimilação de possíveis conflitos e interferências de espaço e tempo durante a construção; (c) acréscimo de equipamentos, recursos e elementos de canteiro para a análise do planejamento; (d) conformação do ritmo ideal de trabalho do cronograma; (e) difusão de possíveis impactos causados por modificação do planejamento; e (f) integração e comunicação entre os envolvidos do projeto.

Figura 19— *Ranking* do grau de importância das potencialidades da modelagem BIM 4D

Grau de Importância das Potencialidades da Modelagem 4D	5	4	3	2	1	N	$\Sigma P$	IIR	Média	Desvpad	Rank
Identificação de conflitos de espaço e tempo	30	32	4	0	0	66	290	0,879	4,39	0,60	1
Integração e comunicação entre todos os envolvidos no projeto	36	20	8	2	0	66	288	0,873	4,36	0,82	2
Redução do esforço na visualização e interpretação mental	19	39	8	0	0	66	275	0,833	4,17	0,62	3
Transmissão de impactos devido a mudanças no planejamento	22	33	11	0	0	66	275	0,833	4,17	0,69	3
Apoio no sequenciamento e conformação ideal do cronograma	23	33	7	3	0	66	274	0,830	4,15	0,79	5
Inserção de equipamentos, elementos de canteiro e recursos	16	43	7	0	0	66	273	0,827	4,14	0,58	6

Fonte: Brito e Ferreira (2015).

Figura 20– Ranking da aplicabilidade das potencialidades da modelagem BIM 4D

Aplicabilidade das Potencialidades da Modelagem 4D	5	4	3	2	1	N	$\Sigma P$	IIR	Média	Desvpad	Rank
Identificação de conflitos de espaço e tempo	22	35	6	3	0	66	274	0,830	4,15	0,77	1
Redução do esforço na visualização e interpretação mental	16	36	13	1	0	66	265	0,803	4,02	0,71	2
Integração e comunicação entre todos os envolvidos no projeto	25	20	16	5	0	66	263	0,797	3,98	0,97	3
Inserção de equipamentos, elementos de canteiro e recursos	13	37	13	3	0	66	258	0,782	3,91	0,76	3
Transmissão de impactos devido a mudanças no planejamento	11	39	13	3	0	66	256	0,776	3,88	0,73	5
Apoio no sequenciamento e conformação ideal do cronograma	14	32	16	3	1	66	253	0,767	3,83	0,87	6

Fonte: Brito e Ferreira (2015).

Biotto (2012) propõe um método para uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção composto por 3 fases e obtido a partir do estudo de caso aplicado pela autora (Figura 21).

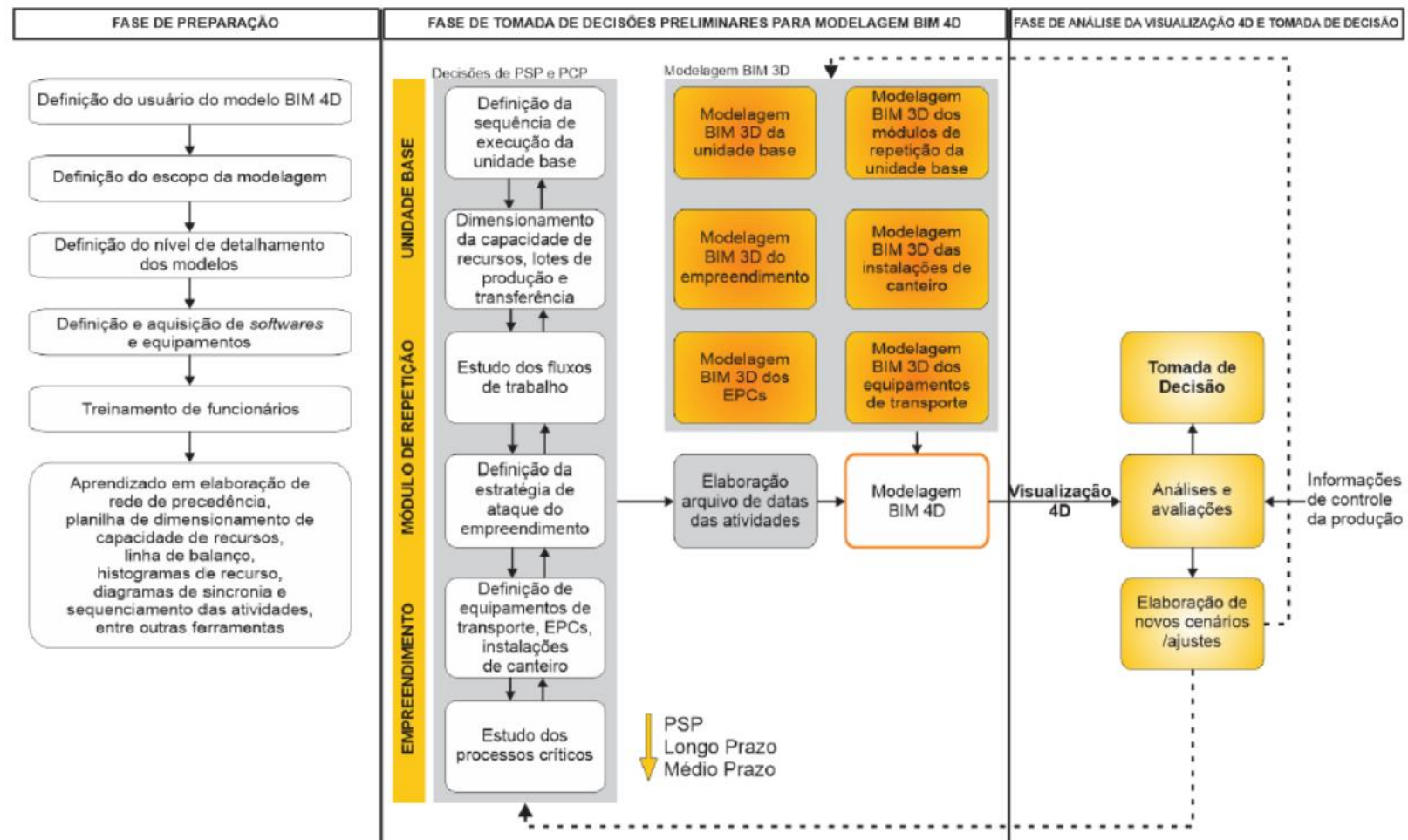
Fosse *et al.* (2017) alinha BIM e *Lean* na prática desenvolvendo um modelo de projeto e construção visual (*Visual Design and Construction – VDC*). Os princípios *Lean* são essenciais, principalmente para fornecer aos clientes exatamente o que eles precisam para que possam cumprir seus propósitos, e com desperdício mínimo. Segundo os autores, o sistema *Last Planner* (LPS) é um método indispensável para qualquer projeto *Lean*, mapeando tanto atividades de pré-construção e de construção. Concomitantemente, a modelagem BIM é fundamental para que o VDC ocorra. Os autores concluíram que os principais impulsionadores para uma mudança positiva foram pelo desenvolvimento de práticas VDC em um nível de projeto, com fornecimento suficiente de treinamento e de lideranças que promovem as práticas.

Em seu estudo, Khan e Tzortzopoulos (2014) introduziram aos participantes a matriz desenvolvida por Sacks *et al* (2010) e, durante a implementação em sua pesquisa, avaliaram os benefícios das interações entre os dois princípios *Lean* (redução da variabilidade e do tempo de ciclo) e as sete funcionalidades BIM (visualização de forma, rápida geração de projetos alternativos, fonte única de informação, detecção automática de choque, geração automática de projetos e documentos, edição colaborativa de uma única disciplina e exibição colaborativa de modelos multidisciplinares mesclados ou separados), os quais acredita-se que tenham o maior impacto no fluxo de trabalho quando eles interagem positivamente.

Com um fluxo de trabalho mais previsível, certas decisões foram melhores tomadas, como decisões de alocação de recursos, planejamento e coordenação (KHAN; TZORTZOPOULOS, 2014).



Figura 21– Método do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção



Fonte: Biotto (2012).

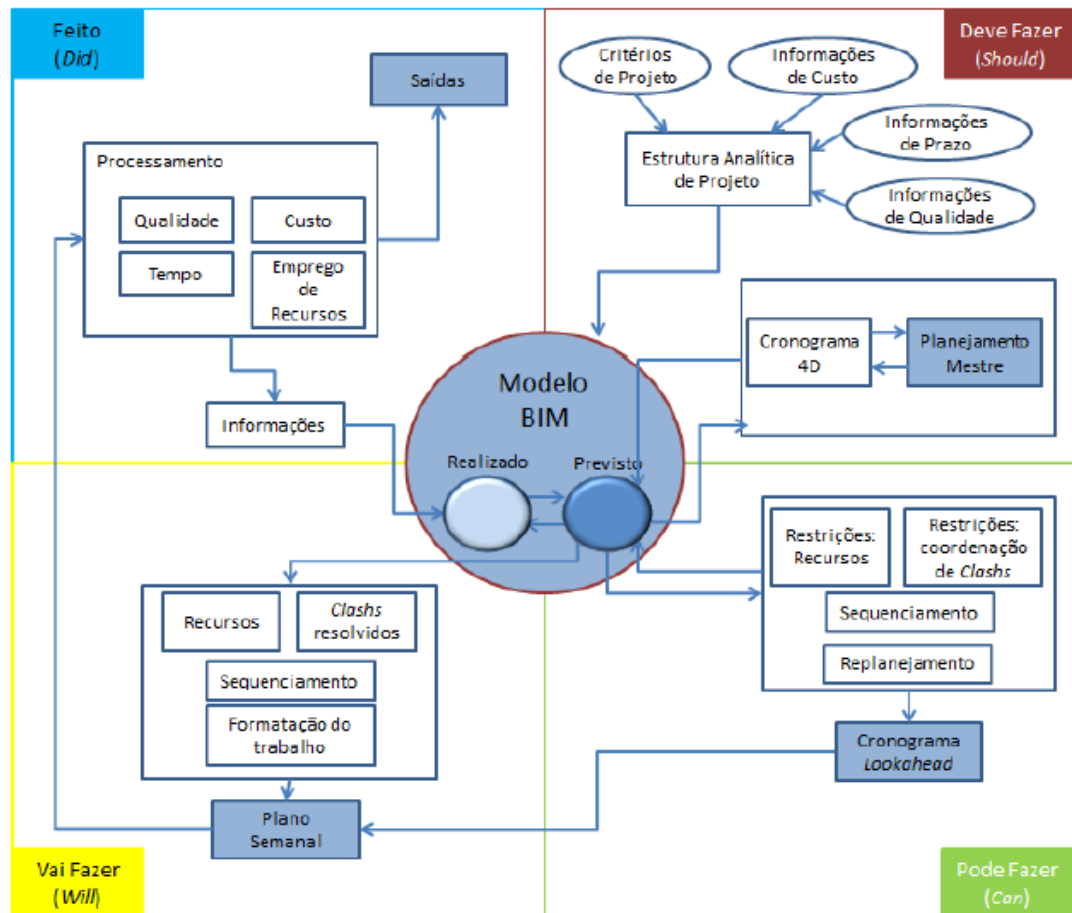
De acordo com o estudo de caso feito por Hussein (2016), os aspectos do BIM (a visualização em 3D, o planejamento 4D e a detecção de choque do MEP) levaram a um aumento na colaboração e na comunicação entre os participantes do projeto, reduzindo as incertezas no desenvolvimento do projeto e ajudando na entrega *just-in-time* dos materiais, questões essas que são abordadas na construção enxuta.

Khan (2016) analisou a matriz de interação BIM/*Lean* proposta por Sacks (2010), verificando as interações positivas geradas a partir da aplicação dos princípios e funcionalidades em dois estudos de caso. 33 e 29 interações positivas foram observadas em cada estudo de caso, respectivamente. Redução de variabilidade e de tempo de ciclo foram os princípios que mais interagiram, sugerindo que o fluxo de trabalho melhorou, enquanto as funcionalidades BIM que mais interagiram foram edição e exibição simultânea e colaborativa do modelo, confirmando a maior colaboração e melhor coordenação que o BIM propõe.

Mendes Jr *et al.* (2014) propõem um arcabouço teórico de integração do BIM com o *Last Planner*, conforme mostra a Figura 22. Pode-se perceber pelo arcabouço teórico que a integração da modelagem com o planejamento torna possível a obtenção de mais informações para a produção, uma melhor visualização e maior possibilidade de simular cenários futuros produção, além de resolução de incompatibilidades, o que reduz a variabilidade e facilita a comunicação entre os envolvidos.

Sacks, *et al.* (2013) introduzem um sistema chamado *KanBIM*, combinação do BIM com o gerenciamento visual de pacotes de trabalho para puxar o fluxo de trabalho juntamente com o sistema *Last Planner*. Este demonstra às equipes de produção o nível de maturidade de cada pacote, que é aumentada com a remoção das restrições que impedem o início da atividade. O grande benefício do sistema é devido ao fato de poder ser visualizado e comunicado *online*.

Figura 22– Arcabouço teórico de integração BIM com o Sistema *Last Planner*



Fonte: Mendes Jr *et al.* (2014)

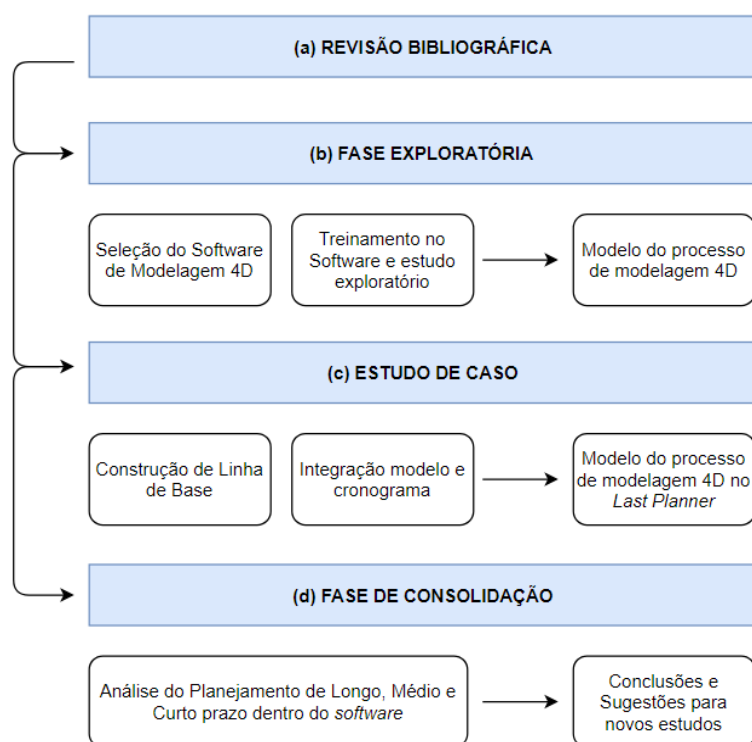
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção é detalhado o método de pesquisa, apresentando-se todo o desdobramento para a realização da pesquisa.

#### 3.1 Considerações Iniciais

Este trabalho está dividido em quatro fases: (a) revisão bibliográfica, (b) fase exploratória, (c) estudo de caso e (d) fase de consolidação, conforme mostra a Figura 23 e detalhado a seguir.

Figura 23– Delineamento da pesquisa



Fonte: Autora (2017).

#### 3.2 Revisão Bibliográfica

Primeiramente, procurou-se identificar uma lacuna no conhecimento acadêmico e aprofunda-se na compreensão de um problema real da construção civil. Para tanto, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os conceitos gerais para a construção de um modelo BIM 4D e sua aplicabilidade na construção enxuta. Para isso, estudou-se sobre a ferramenta BIM, o

princípio da construção enxuta, o sistema *Last Planner* e a integração dessas ferramentas e princípios. A revisão bibliográfica foi fundamentada em livros, dissertações, teses, monografias, artigos, publicações, dentre outras fontes.

Algumas palavras chaves que orientaram a pesquisa foram: BIM, *Building Information Modeling*, Planejamento e Controle de Produção, *Last Planner*, Construção Enxuta, BIM 4D, Navisworks. Esta etapa contou com mais de 40 publicações.

Ainda durante a revisão bibliográfica, foi necessário um estudo do enquadramento metodológico da pesquisa, ou seja, os aspectos essenciais para o entendimento das escolhas realizadas na pesquisa e os meios utilizados para alcançar os objetivos propostos. Assim, decidiu-se por uma abordagem qualitativa na qual foi realizado um estudo de caso único com a aplicação de entrevistas, conforme detalhado a seguir.

### **3.2.1 Tipo de Pesquisa**

Segundo Collis e Hussey (2005), o tipo de pesquisa pode ser classificado quanto à natureza dos dados, aos objetivos, à lógica e aos resultados. Quanto à natureza dos dados, ela pode ser quantitativa, qualitativa ou mista. A pesquisa em questão é qualitativa, pois ela é subjetiva e busca coletar dados de texto e imagens, havendo interpretação dos documentos e uma visão ampla da situação em detrimento de uma microanálise (CRESWELL, 2007). Ao utilizar uma abordagem qualitativa, o trabalho pretende se aprofundar no significado (porque) e em como ocorre o fenômeno (COOPER; SCHINDLER, 2016).

Quanto aos objetivos, a pesquisa se enquadra em exploratória e descritiva, pois há pouca informação sobre do problema. Além disso, é descritiva, pois será descrito como o fenômeno em análise ocorre, no que diz respeito às questões levantadas (RICHARDSON, 2011). Assim, a pesquisa buscou entender a aplicação do BIM no planejamento da obra, identificando vantagens e desvantagens dessa integração a partir do conhecimento teórico, a pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva.

### **3.2.2 Estratégia de Pesquisa**

Segundo Yin (2010), cada estratégia para realizar a pesquisa possui suas vantagens e desvantagens e ela depende, principalmente, do tipo de pesquisa, do controle que o pesquisador possui sobre os eventos e se os fenômenos da pesquisa são históricos ou

contemporâneos. Esta pesquisa analisa um fenômeno contemporâneo, dentro de um contexto de vida real, do tipo exploratória e descritiva, ela pode ser caracterizada como estudo de caso.

Ainda conforme o autor, o estudo de caso pode ser realizado com a coleta de seis fontes de evidência que devem ser exploradas e complementadas entre si: documentos, registros em arquivo, entrevistas, observação direta, observação participante e artefatos físicos.

De acordo com Vergara (2007), a pesquisa bibliográfica é um estudo sistematizado que se utiliza de livros, artigos, entre outros e fornece informação passível de análise para qualquer outro tipo de pesquisa, podendo, também, esgotar-se em si mesma. Neste estudo, além de pesquisa bibliográfica, as fontes que o possibilitaram foram: documentos e entrevistas semiestruturadas. As vantagens de se utilizar documentos como tipo de fonte são as seguintes: fonte estável, discreta, exata e com ampla cobertura (YIN, 2010). Já a entrevista foi escolhida por ser uma das fontes de informações mais importantes para estudos de caso (YIN, 2010). No que se refere a tipologia da entrevista, semiestruturada, optou-se por essa modalidade, para que fosse possível formar o conhecimento a partir do entrevistado, sem haver a imposição da opinião do entrevistador (RICHARDSON, 2011). Esse tipo de entrevista semiestruturada se coloca entre a roteirização total e inflexível das entrevistas estruturadas e a flexibilização e abertura total das entrevistas não estruturadas.

Portanto, apesar de ter uma série de perguntas que devem ser seguidas, o autor tem liberdade para mudar a ordem das mesmas, de acordo com o caminhar da entrevista, sendo possível acrescentar ou remover questionamentos. Para a presente pesquisa não foi necessário acrescentar ou remover nenhum questionamento e a entrevista foi dividida em quatro partes: (1) caracterização da empresa, obtida na etapa de Materiais e Métodos e explorada abaixo; (2) caracterização do método tradicional de planejamento, abordada no item 4.1.3.1; (3) avaliação da etapa de modelagem de modelagem 4D, abordado no item 4.1.3.2; e (4) aplicação da modelagem 4D em uma reunião de acompanhamento, abordado no item 4.1.3.2.

Inicialmente, foi entrevistado o engenheiro da obra escolhida com o objetivo de ser referencial na caracterização da empresa e da obra escolhida. Além disso, procurou-se estabelecer um ambiente favorável ao diálogo entre o entrevistador e o entrevistado, iniciando um processo de interação anteriormente aos questionamentos mais relevantes. Para estruturar a entrevista, buscou-se formular um roteiro, conforme apresentado no Apêndice C – Parte I.

Então, entrevistou-se um engenheiro de planejamento para que se pudesse melhor entender o processo de planejamento tradicional, sem a utilização do BIM. Essa entrevista teve como objetivo o maior entendimento do processo, para que se direcionasse a modelagem

4D de forma a atender os requisitos de um planejamento. O roteiro da entrevista está no Apêndice C – Parte II.

As entrevistas 3 e 4 (Apêndice C – Parte III e IV) foram obtidas em reunião de acompanhamento em conjunto com engenheiro da obra e engenheiro de planejamento.

### 3.3 Fase Exploratória

Nesta etapa foi analisada qual ferramenta BIM 4D seria mais eficiente para prosseguir com o estudo e solucionar o problema proposto. Analisando os *softwares* disponíveis no mercado (Tabela 2) e suas finalidades, decidiu-se por utilizar o Revit e o Navisworks.

Tabela 2– Principais ofertas BIM para edificações na etapa Pré-Obra

	Pré-Obra		
	Desenvolvimento de modelos e visualização	Planejamento 4D	Desenvolvedores
Revit	x	x	AUTODESK Base Desktop
Navisworks	x	x	AUTODESK Base Desktop
Civis 3D/Infraworks	x		AUTODESK Base Desktop
Inventor	x		AUTODESK Base Desktop
Vault	x	x	AUTODESK Base Desktop
3Ds Max	x		AUTODESK Base Desktop
Dynamo	x	x	AUTODESK Base Desktop
A360 (plataforma de serviços na nuvem)	x	x	AUTODESK Base Nuvem
BIM 360 Docs	x	x	AUTODESK Base Nuvem
Buzzsaw	x	x	AUTODESK Base Nuvem
Formit 360 Pro	x		AUTODESK Base Nuvem
BIM360 Schedule		x	AUTODESK Base Nuvem
Tekla Structures	x	x	TRIMBLE
Vico Software		x	TRIMBLE
PipeDesign 3D	x		TRIMBLE
DuctDesign 3D	x		TRIMBLE
Sketchup	x		TRIMBLE
Trimble Connect	x	x	TRIMBLE
Archicad	x		NEMETSCHEK
Vectorworks	x		NEMETSCHEK
DDS-CAD	x		NEMETSCHEK

AllPlan	x		NEMETSCHEK
Scia	x		NEMETSCHEK
ProjectWise Design Integration & Deliverables Management & Engineering Content Management	x	x	BENTLEY
AECOSim Building	x		BENTLEY
LumenRT	x		BENTLEY
Grasshoper	x		OUTROS
Rhinocerus	x		OUTROS
SDS/2	x		OUTROS
Synchro		x	OUTROS

Fonte: Adaptado de CBIC Vol. 3 (2016).

Como as ferramentas escolhidas não eram usuais para a autora, foi necessário um treinamento de forma a explorar e melhor compreendê-las. Este treinamento se deu por meio de leituras de manuais e guias de utilização do *software*, além de assistir vídeos-aulas disponíveis. Procurou-se compreender como o *software* funciona e as possibilidades ofertadas pela visualização 4D. Além disso, nessa fase, foram definidas as etapas do processo de elaboração do projeto.

Segundo Autodesk (2017), fabricante do programa Revit Architecture

*O software Autodesk Revit® Architecture funciona da maneira como você pensa, para que você possa criar com naturalidade, projetar com liberdade e produzir com eficiência. Sendo um software específico para a modelagem de informações de construção (BIM), qualquer alteração – a qualquer momento, em qualquer lugar – reflete-se automaticamente em todo o projeto. Os projetos e a documentação permanecem coordenados, consistentes e completos.*

Sobre o *software* Navisworks, o fabricante define que essa ferramenta permite melhor coordenação e análise do projeto para revisão dos projetos integrados, incluindo ferramentas avançadas de simulação e validação. Dentre os recursos disponíveis na ferramenta, se destacam: coordenação de projetos, detecção de conflitos, animação do projeto e simulação do modelo, visualização de projetos, quantificação, entre outros.

Para a realização da integração BIM e cronograma das atividades, o entendimento da ferramenta MS Project também foi crucial. Esta ferramenta é responsável pelo gerenciamento do projeto, onde se pode monitorar, por exemplo, cronogramas, recursos e custos do projeto a ser administrado. O planejamento nesta ferramenta é facilitado pelos diversos modos de exibição, como Gráfico de Gantt e Linha de Balanço. Ademais, para a construção da linha de balanço base da obra a ser estudada, foi fundamental o estudo dos seus documentos, como termo de abertura, EAP (estrutura analítica do projeto) e orçamento, além



de entrevistas com a administração da obra para que se pudesse entender sua metodologia de construção e para validar o planejamento proposto.

### 3.4 Caracterização do Estudo de Caso

Para esse estudo, foi escolhido um edifício vertical na cidade de Fortaleza/CE de uma empresa construtora de médio porte, típico de alto padrão de acabamento, sendo denominado Edifício X. Seus projetos e modelagem 3D já existentes foram analisados para inicialmente se familiarizar com a obra. Na Figura 24, apresenta-se uma imagem do Edifício X:

Figura 24— Edifício X (Fortaleza/CE)



Fonte: Empresa Alfa.

O Edifício X consiste em uma torre única de 23 pavimentos tipo, quatro pavimentos de área comum (subsolo inferior, subsolo superior, térreo e pilotis), sendo 3 apartamentos por pavimento. O apartamento da coluna 0 possui 127,16 m<sup>2</sup>, o da coluna 1 possui 129,73 m<sup>2</sup> e o da coluna 2 possui 130,11 m<sup>2</sup>. Todos os apartamentos dispõem de dependência, hall privativo, varanda gourmet e 3 vagas na garagem. Cada coluna de apartamento possui 3 opções de arquitetura, sendo opção padrão apresentada na Figura 25.

Figura 25– Planta Arquitetônica Edifício X



Fonte: Empresa Alfa.

Os projetos foram fornecidos já modelados no *software* Revit, da Autodesk, abrangendo as disciplinas de arquitetura, estrutura e instalações. Adotou-se o pavimento tipo como objeto de estudo, pois há repetições de processos. Os projetos disponibilizados já seguiam a metodologia de execução da Empresa Alfa e estavam alinhados com o termo de abertura da obra, portanto poucas alterações foram necessárias para a integração. Um exemplo deste alinhamento está na prévia separação no modelo das atividades de Alvenarias e Marcação de Alvenaria.

O estudo de caso iniciou com um levantamento de dados e compreendeu 3 etapas distintas: (a) Construção da Linha de Balanço Base; (b) Integração da Modelagem; (c) Avaliação do Planejamento de Longo e Médio Prazo; As duas primeiras etapas foram abordadas neste capítulo, em caracterização do estudo de caso, enquanto a terceira foi explicada na Fase de Consolidação (3.5) e detalhada nos Resultados e Discussões.

A tabela 3 apresenta mais detalhadamente as atividades, ferramentas e resultados esperados do trabalho.

Tabela 3– Objetivos do trabalho

<b>OBJETIVO GERAL</b>	Verificar a viabilidade, a eficiência e os benefícios que a integração do BIM ao sistema <i>Last Planner</i> pode fornecer às construtoras.		
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>METODOLOGIA</b>		
	<b>Atividades</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Identificar os conceitos e aplicações do BIM e do <i>Lean Construction</i> , com enfoque no <i>Last Planner</i> ;	Estudos por meio da bibliografia apresentada	Livros, artigos, dissertações, entre outros	Compreensão dos conceitos para posterior aplicação
Modelar em BIM 4D para estudo do planejamento de longo e médio prazo;	Estudo de pacotes de trabalho, tempo de ciclo, sequenciamento das atividades e montagem da linha de balanço base	Termo de abertura, EAP, quantitativos, índices de produtividade, reuniões com equipe da obra, MS Project	Montagem da Linha de Balanço Base
	Inserir modelo e cronograma no Navisworks	<i>Softwares</i> Navisworks e MS Project	Criação do modelo 4D
Analisar os pontos positivos e negativos da aplicação do modelo 4D no <i>Last Planner</i> , elaborando recomendações para sua aplicação;	Avaliar a capacidade do modelo de representar a evolução da construção ao longo do tempo nas esferas de longo e médio prazo	<i>Software</i> Navisworks	Identificar benefícios e limitações da modelagem 4D aplicada ao planejamento de longo e médio prazo e apresentar recomendações à sua aplicação

Fonte: Autora (2017).

### 3.4.1 Construção da Linha de Balanço Base

Primeiramente, ocorreu um levantamento de dados com a equipe da obra e empresa prestadora de serviço de planejamento. Com o auxílio dessas equipes e dos documentos disponíveis (termo de abertura e projetos), foi possível montar a LB (linha de balanço). Inicialmente, determinaram-se as atividades que seriam consideradas (pacotes de trabalho) e analisaram-se as restrições de projeto (ordem de execução e limitações construtivas), de modo que este planejamento fosse o mais coerente com a realidade. Para a montagem da LB, então, seguiu-se os seguintes passos:

- a) Unidade Básica, pacotes de trabalho e EAP

Para diminuir a complexidade do planejamento e facilitar o acompanhamento e controle da obra, decidiu-se por utilizar a unidade básica, ou unidade de repetição, como sendo um pavimento. A escolha dessa unidade deveu-se ao fato de não se desejar nem uma unidade muito detalhada, como um apartamento, pois assim deixaria a linha de balanço muito extensa, nem uma unidade muito abrangente, pois dificultaria as medições e acompanhamento da mesma.

Em seguida, dividiu-se a unidade básica em pacotes de trabalho. Para o estudo de caso, o critério utilizado para a divisão dos pacotes de trabalho foi o alinhamento com o termo de abertura da obra, documento estabelecido inicialmente entre a construtora Empresa Alfa e a empresa contratada para consultoria de planejamento. Este documento foi disponibilizado integralmente de forma a facilitar os processos do estudo.

Segundo Maziero (1990), um resultado mais positivo do planejamento é obtido com a escolha da menor equipe possível (com menor número de pessoas), ocasionando maiores durações. A maior duração unitária resulta em maior ritmo na LB. Os índices de produtividade foram obtidos da empresa prestadora de serviço de planejamento, juntamente com os quantitativos. A Figura 30, em Resultados e Discussões, mostra um exemplo de pacote de trabalho da obra em questão.

Após a definição dos pacotes de trabalho, foi possível desenvolver uma EAP, contendo todo o escopo do projeto. A EAP deste estudo de caso pode ser visto no Apêndice A.

#### b) Tempo de ciclo e tamanho da equipe

Conforme se percebe no exemplo indicado na Figura 28 (Resultados e Discussões), a partir dos pacotes de trabalho é possível descobrir o tempo de ciclo da atividade. Essa duração é calculada da seguinte maneira:

$$D = \frac{QS \times IP}{EQ \times JT} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

D – Duração da atividade;

QS – Quantidade do Serviço;

IP – Índice de Produtividade;

EQ – Tamanho da Equipe (número de operários);

JT – Jornada de Trabalho (8,8h por dia).

Na condição de ser necessário um tempo de ciclo maior ou menor, pode-se alterar o tamanho da equipe para menos ou para mais, respectivamente.

### c) Sequenciamento das atividades e Montagem do gráfico da LB

Posteriormente, a LB foi montada a partir do sequenciamento dos pacotes de trabalho de forma lógica de precedências executáveis pela obra, seguindo a diretriz da EAP. As ligações entre atividades repetitivas, como de um pavimento para o outro, foram feitas pelo tipo de precedência término-início (TI), ou seja, a atividade do pavimento seguinte só inicia quando a do pavimento anterior é finalizada.

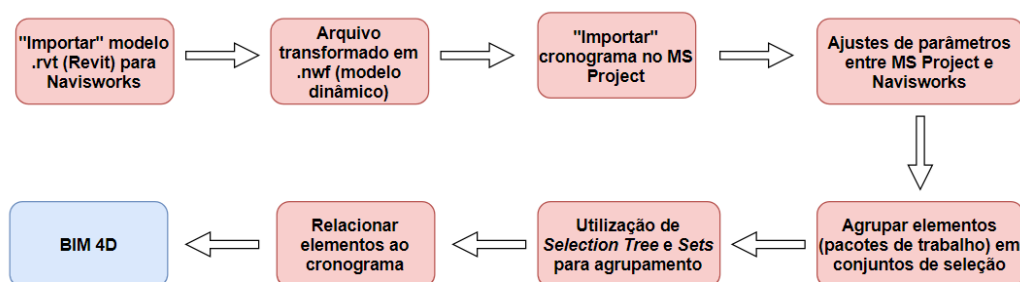
Assim foi necessário fazer o balanceamento dos pacotes de trabalho, o que não significa necessariamente aumentar a produtividade de todos os pacotes, mas atribuir a cada serviço um ritmo compatível com sua equipe ótima, conforme indicação de Mattos (2010).

Após essa montagem, é possível verificar qual pacote de trabalho será feito, o tipo e a quantidade de profissional que executará aquela tarefa, em qual pavimento ela ocorre e quando ela será feita.

### 3.4.2 Integração da Modelagem

Após a montagem da LB e a análise dos projetos modelados, identificaram-se as principais atividades que ocorriam em um pavimento tipo e o plano de ataque para cada atividade. Dessa forma, ao integrar o modelo ao cronograma, o entendimento da sequência de construção foi facilitado e é apresentado na Figura 26.

Figura 26– Fluxograma Integração da Modelagem

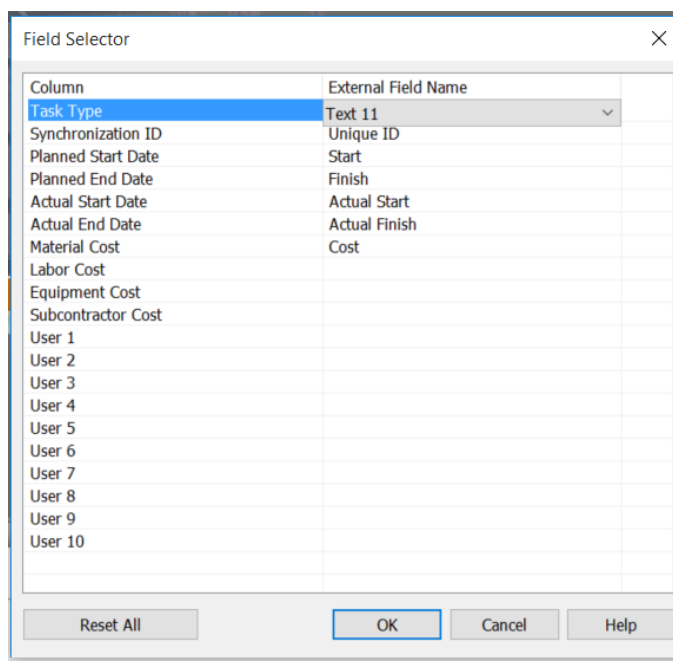


Fonte: Autora (2017).

Verifica-se que, inicialmente, importou-se o modelo no Revit para o *software* Navisworks, criando, na realidade, *links* entre os *softwares*. Essa importação é facilitada, pois, como os *softwares* são do mesmo fabricante, o arquivo possui interoperabilidade com o programa, sendo necessário somente clicar em “abrir” e selecionar o arquivo na extensão “.rvt”. É importante ressaltar que, ao utilizar o Navisworks, têm-se dois tipos de arquivos: “.nwf” e “.nwd”. O primeiro contém os links que apontam para os modelos que estão sendo trabalhados, portanto se o arquivo “.rvt” for alterado no Revit, ele será atualizado no Navisworks (comando “refresh”), sendo, assim, um modelo dinâmico. O segundo é um arquivo publicado, ou seja, é gerado a partir do arquivo “.nwf”, porém é estático, não sendo atualizado caso haja modificações no projeto original. Para este estudo, utilizaram-se sempre arquivos do tipo “.nwf”, pela facilidade de atualização caso houvesse alguma alteração.

Em seguida, importou-se o cronograma em “.mpp”, extensão do MS Project, dentro da janela *TimeLiner* do Navisworks. Assim que o arquivo no MS Project é carregado, é solicitado que se faça alguns ajustes de parâmetros da planilha. Por exemplo, a Figura 27 mostra os links feitos entre a nomenclatura do Navisworks e das colunas no MS Project.

Figura 27– Ajustes de parâmetros entre Navisworks e MS Project

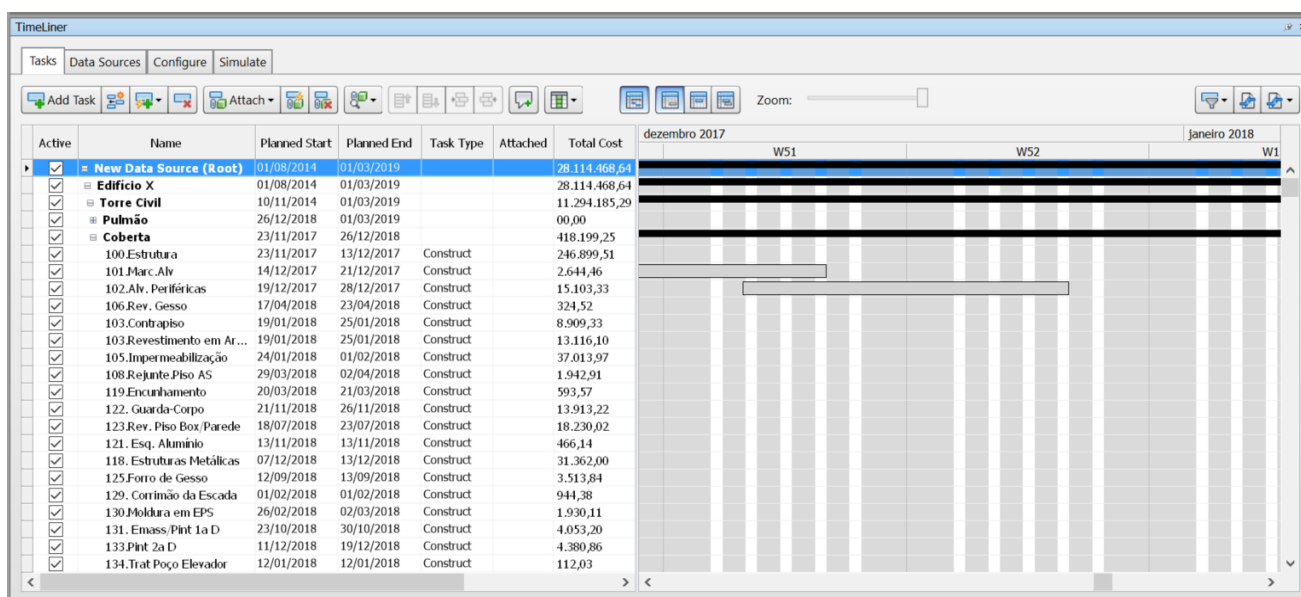


Fonte: Autora (2017).

Pode-se observar a linha *Task Type*. As informações contidas nela são essenciais para a simulação do modelo, pois os tipos de atividade definem a forma com que cada tarefa

será representada na simulação. Os tipos mais utilizados são *Construct* (Construção), *Demolish* (Demolição) e *Temporary* (Temporário), representados pelas cores verdes, vermelho e amarelo, respectivamente. Para este estudo de caso foram considerados somente tipos Construção e Demolição. Após esses alinhamentos, as tarefas vão ser reconstruídas no *software* Navisworks pela janela *TimeLiner*, conforme Figura 28 abaixo.

Figura 28– Interface *TimeLiner*



Fonte: Autora (2017).

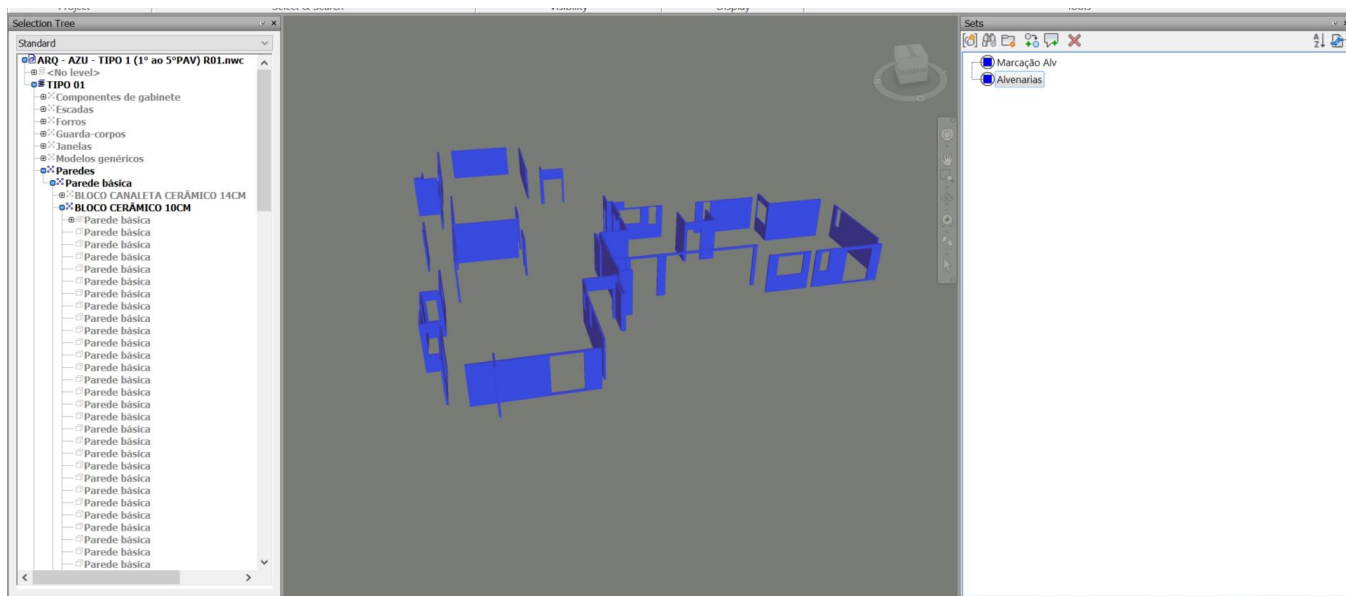
#### a) Agrupar elementos em conjuntos de seleção

Após analisar os pacotes de trabalho importados do MS Project para o Navisworks, é primordial o agrupamento das atividades em *Sets*, um organizador de seleções. Esses agrupamentos em *Sets* são baseados em seleções, ou seja, os grupos foram selecionados e atrelados às tarefas previamente determinadas no cronograma.

O método adotado para esta aglomeração foi utilizando a *Selection Tree* ou Árvore de Seleção, uma janela acoplável que exibe uma variedade de visualizações hierárquicas da estrutura do modelo, conforme definido pelo *software* de modelagem. Nesta árvore estão dispostos todos os elementos do modelo importado. Portanto, os elementos pertencentes a cada pacote foram selecionados e salvos em uma pasta na janela *Sets*. Cada conjunto de elementos, ou seja, cada pasta foi renomeada com os respectivos nomes dos pacotes para facilitar no momento da ligação com o cronograma. A Figura 29 apresenta um exemplo do agrupamento de pacotes feito.



Figura 29– Agrupamento em Sets



Fonte: Autora (2017).

#### b) Relacionar elementos ao cronograma

Em seguida ao agrupamento foi necessário associar os elementos agrupados manualmente ao cronograma previamente importado no *TimeLiner*. A partir desse momento, é possível verificar a simulação baseada nas tarefas geradas no MS Project.

### 3.5 Fase de Consolidação

Por fim, para prosseguir com o estudo de caso, foi avaliado se os planejamentos de longo e médio prazo foram obtidos com o auxílio do BIM 4D e, além disso, se foi possível extrair as informações necessárias para a execução desse planejamento, ou seja, se as informações apresentadas no modelo eram suficientes para obter o planejamento da obra. Para a avaliação do planejamento de longo prazo, o modelo 4D deve validar a linha de base de longo prazo obtida pelo MS Project, verificando se as atividades estão chocando e se as mesmas estão seguindo uma ordem coerente com a realidade. Além disso, o modelo 4D obtido deve auxiliar o planejamento de médio prazo, facilitando a listagem das restrições. Para esta etapa, utilizou-se a estratégia entrevista para verificar, com profissionais da área de planejamento e acompanhamento de obras, se os pontos acima foram obtidos, avaliando, assim, a eficiência da inovação. As perguntas utilizadas para essa entrevista estão no Apêndice C – Parte III.



Por fim, os dados gerados no estudo foram analisados por meio de duas etapas (a) Resultados e Comparação com Modelo Tradicional; e (b) Dificuldades Encontradas, utilizando, respectivamente, dois parâmetros: utilidade e facilidade de uso, ambos analisados por entrevistas feitas com profissionais da área. Dessa forma, foi possível avaliar o método de aplicação do BIM ao sistema *Last Planner*.

O parâmetro utilidade foi avaliado pela verificação se houve melhoria no processo de tomada de decisão a partir do emprego da modelagem BIM 4D. Como não houve tempo suficiente para avaliar regularmente reuniões de tomada de decisão, pôde-se analisar esse indicador, durante uma reunião de acompanhamento da obra com o engenheiro da obra e o engenheiro de planejamento, ao verificar a obtenção de informações antecipadamente e os resultados produzidos por isso; ao constatar se houve um melhor entendimento das inter-relações entre as informações; e ao averiguar a qualidade das informações obtidas por meio do modelo. As perguntas utilizadas para essa entrevista estão no Apêndice C – Parte III e IV.

O parâmetro facilidade de uso foi analisado pelo tempo gasto por essas pessoas, a transparência de informações no processo e a eficiência do método de modelagem BIM 4D. A transparência das informações no processo foi investigada pela facilidade de entendimento do modelo, ou seja, pela percepção de interesse dos participantes em continuar o uso das ferramentas utilizadas sem a interferência da pesquisadora.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os resultados do estudo de caso desenvolvido na pesquisa.

### 4.1 Estudo de Caso

Nesse estudo se realizou a integração dos modelos 3D com o cronograma da obra. Conforme explicado no capítulo anterior, o estudo foi dividido em três etapas e seus resultados podem ser observados abaixo.

#### 4.1.1 Construção da Linha de Balanço Base

Após a definição da unidade de repetição da obra, dos pacotes de trabalho (Figura 30), da EAP, do tempo de ciclo, dos recursos e do sequenciamento dos pacotes de trabalho, a linha de balanço obtida pode ser visualizada no Apêndice B.

Figura 30– Exemplo de Pacote de Trabalho

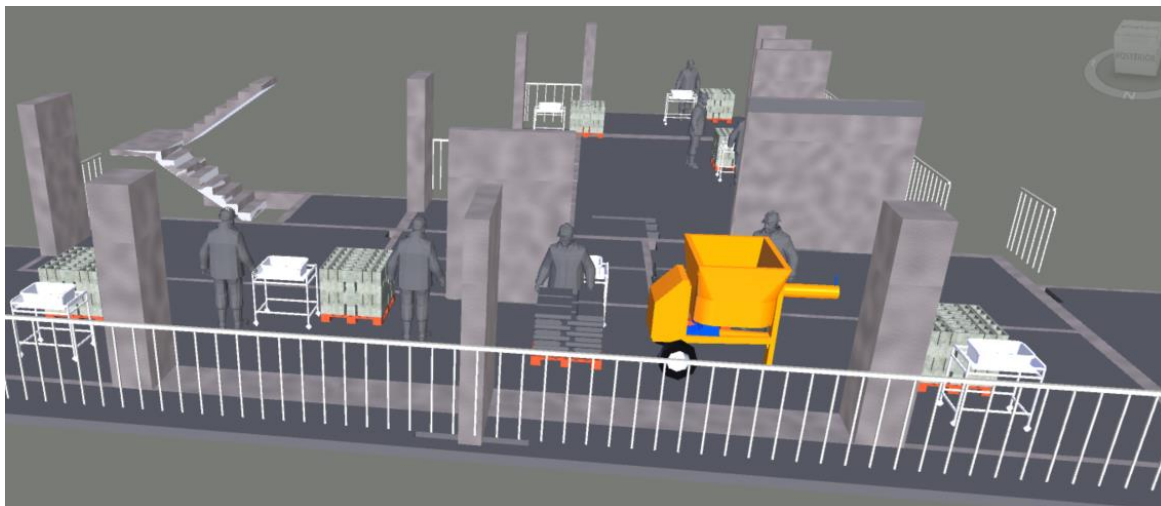
REVESTIMENTO CERÂMICO PISO									
TORRE CIVIL									
COMPOSIÇÃO DA CÉLULA DE PRODUÇÃO 11 - REVESTIMENTO PISO - 1º AO 23º PAV TIPO							EQUIPES		
PROCESSO DA CÉLULA DE PRODUÇÃO	QUANTIDADE DE SERVIÇO		PRODUTIVIDADE 1 OPERARIO/DIA		DIAS P/ 01 OPER.	PROFISSIONAIS POR EQUIPE / DIAS ÚTEIS		DIAS ÚTEIS NECESSÁRIOS	
						Equipe 01			
						3			
Piso em Porcelanato Esmaltado/Acetinado 50x50cm Cof. Classe II	34,71	m²	20,00	m²	1,74	0,58			
Piso em Porcelanato Natural 50x50cm Cof. Classe II inclusive soleiras e filetes	58,60	m²	20,00	m²	2,93	0,98			
Piso em Porcelanato Polido 62x62cm Cof. Classe I inclusive soleiras e filetes	194,67	m²	20,00	m²	9,73	3,24			
TOTAL		Total dias uteis	Calculado	Adotado	4,67	4,80	Calculado		
						5,00	Adotado		

Fonte: Aval Engenharia (2017).

#### 4.1.2 Integração da Modelagem

Conforme descrito no capítulo anterior, a integração da modelagem foi obtida a partir do *link* entre os pacotes de trabalho do modelo 3D e o cronograma da obra. Nesta etapa foi necessário estudar a logística de materiais e elementos de canteiro em geral. Não sendo possível representar todos os elementos, por questão da sua complexidade, foram escolhidos alguns considerados principais, conforme entrevistas. Esses elementos, portanto, foram acrescentados no modelo Revit e atualizados no programa Navisworks. A Figura 31 abaixo mostra esses elementos: *pallets* com argamassa, carro masseira, guarda corpo de proteção contra queda, *pallets* de bloco cerâmico e *pallets* de argamassa pronta.

Figura 31– Elementos de Canteiro

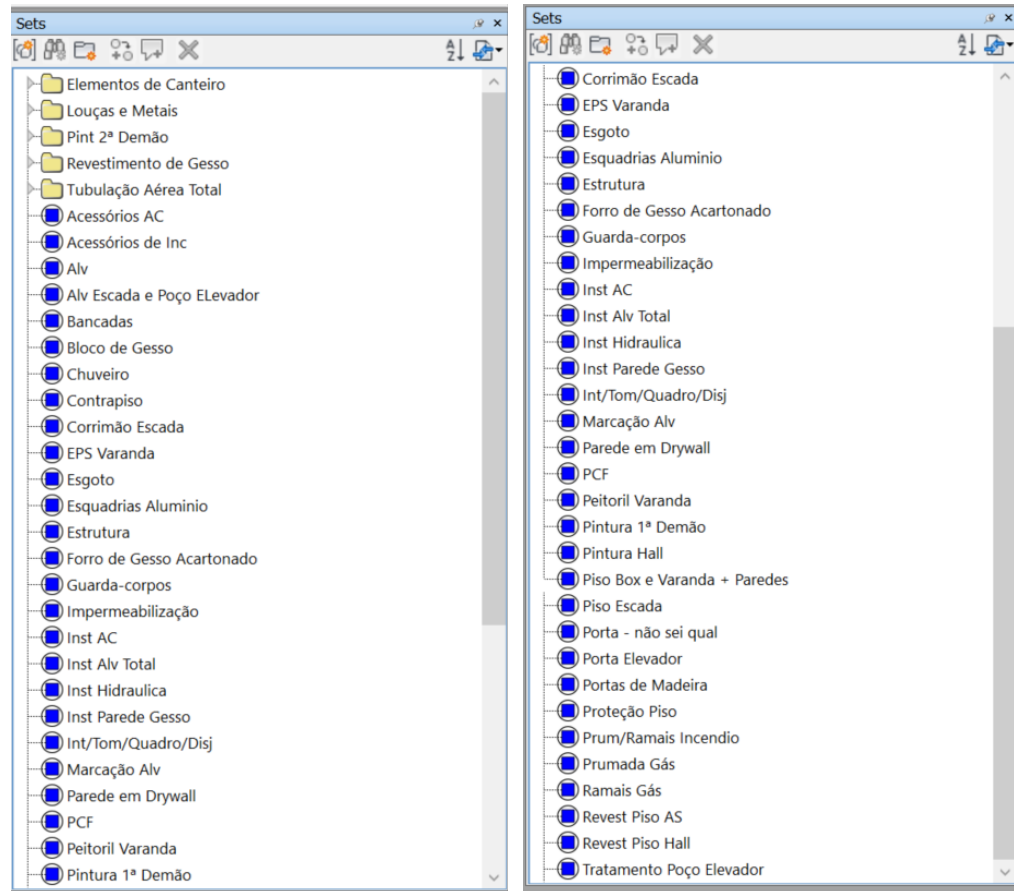


Fonte: Autora (2017).

Já com o modelo completo, conforme explicado no item 3.4.2.a, os seus elementos foram agrupados segundo os pacotes de trabalho previamente definidos. A Figura 32 mostra este agrupamento.

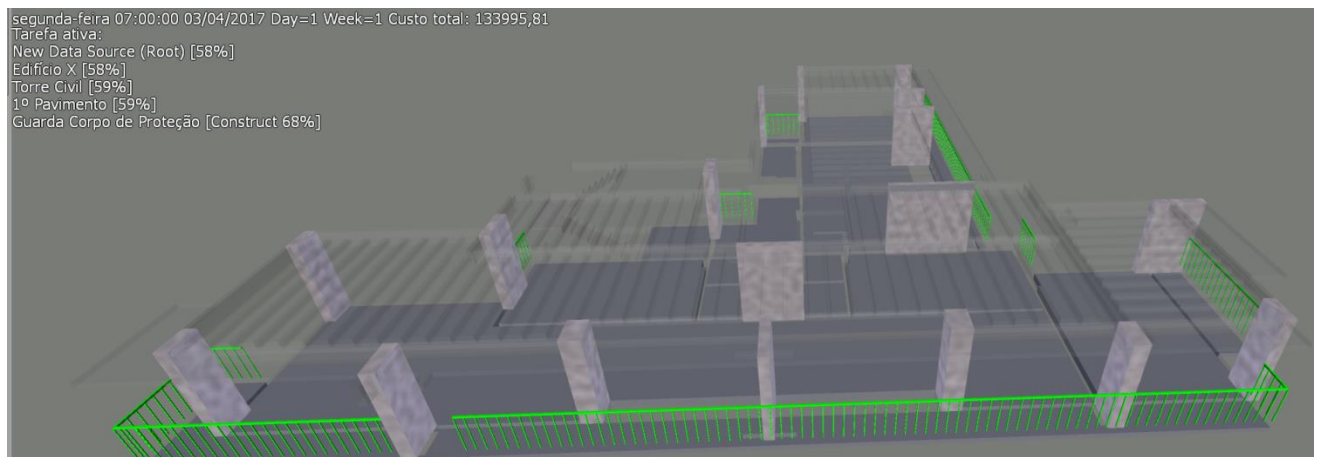
O produto principal dessa integração foi uma simulação da construção do pavimento, onde são construídos não somente a parte civil, mas também a parte de instalações. As Figuras (33 a 46) apresentam parte dessa simulação. Os elementos na cor verde são os elementos da torre civil no momento da construção, já os elementos amarelos são referentes às instalações no momento da construção.

Figura 32– Agrupamento dos Pacotes de Trabalho



Fonte: Autora (2017).

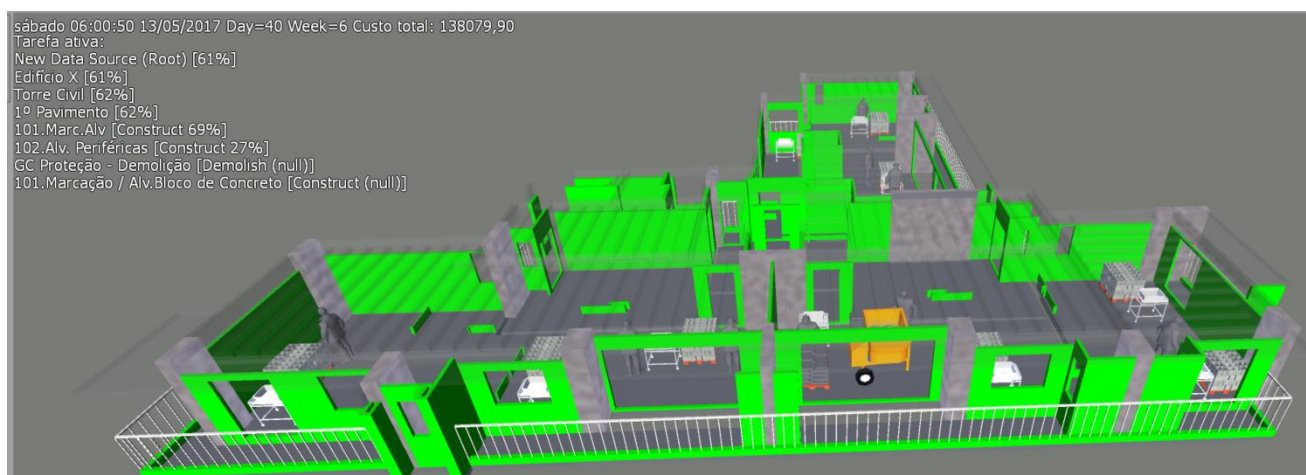
Figura 33– Simulação Estrutura e Guarda Corpo de Proteção



Fonte: Autora (2017).

A Figura 34 indica a simulação da construção das alvenarias (em verde), enquanto os elementos de canteiro para a execução destas já estão modelados no pavimento, com a quantidade definida nos pacotes de trabalho.

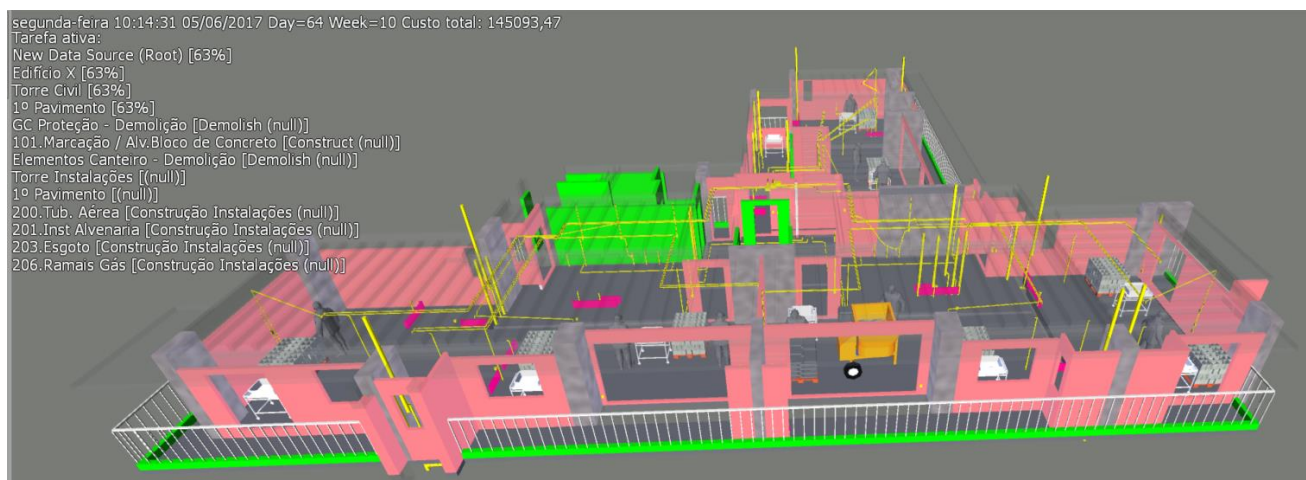
Figura 34– Simulação Alvenarias



Fonte: Autora (2017).

A Figura 35 apresenta a execução das Alvenarias em Bloco de Concreto, localizadas na escada e caixa de elevador, e das Instalações (em amarelo): Instalações Hidrossanitárias, Instalações em Alvenaria e Tubulação Elétrica.

Figura 35– Simulação Alv. Bloco Concreto e Instalações

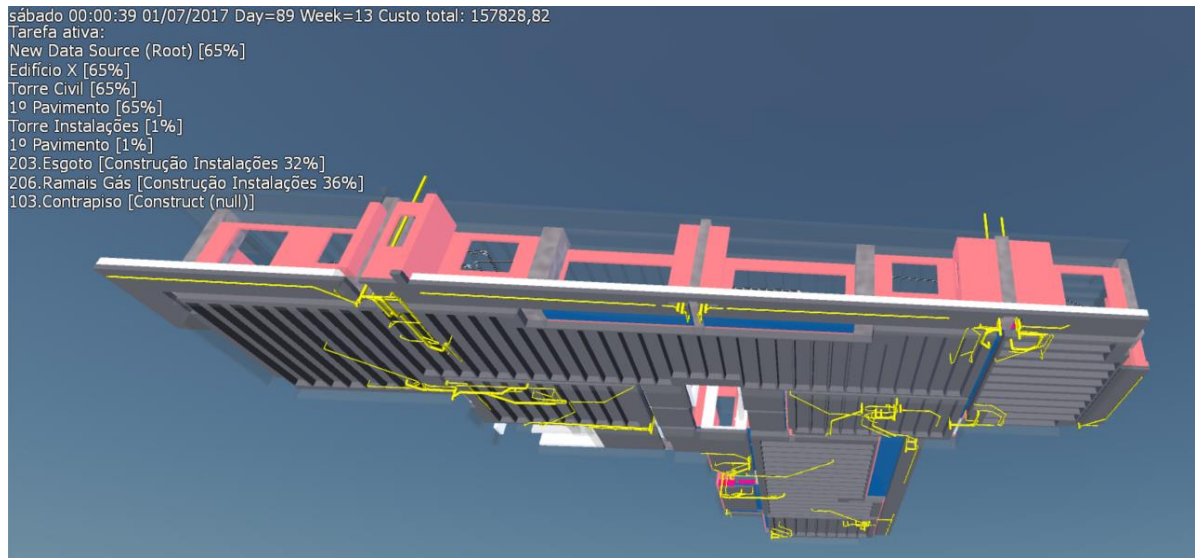


Fonte: Autora (2017).

A Figura 36 indica a simulação dos Ramais de Esgoto (em amarelo) que, primordialmente, foram modelados dentro do pacote de Instalações Hidrossanitárias.



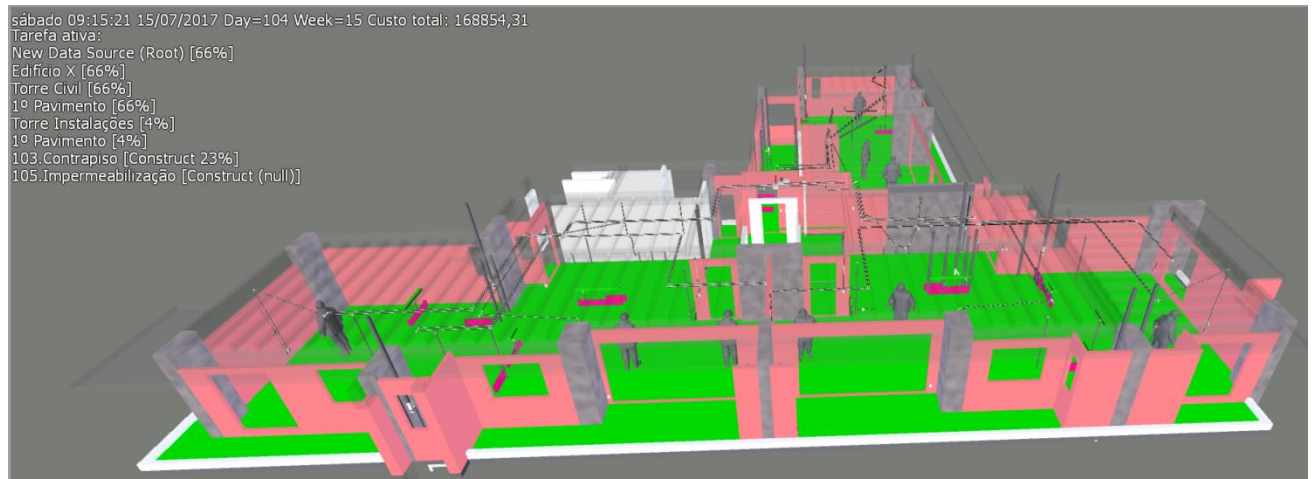
Figura 36– Simulação Ramais Esgoto



Fonte: Autora (2017).

A Figura 37 simula a execução do Contrapiso (em verde), enquanto elementos como alvenarias e instalações já foram executados.

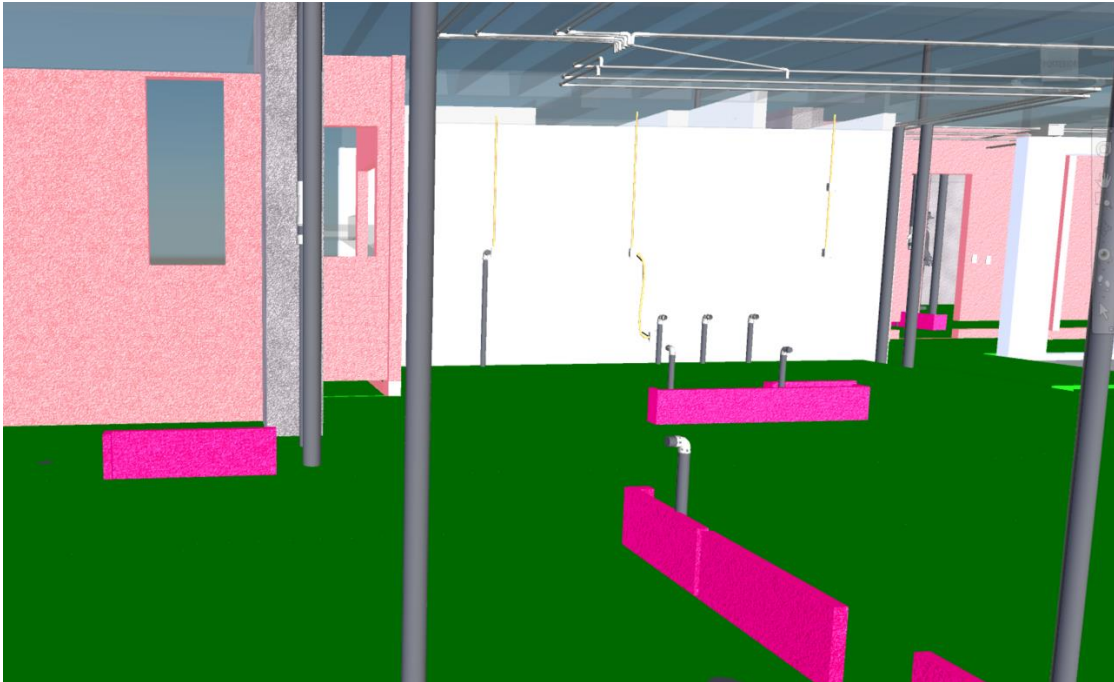
Figura 37– Simulação Contrapiso



Fonte: Autora (2017).

A Figura 38 apresenta um detalhe da execução das instalações, tanto elétricas quanto as prumadas de esgoto.

Figura 38– Instalações Executadas



Fonte: Autora (2017).

A Figura 39 mostra a simulação da Impermeabilização no pavimento e, conforme pode ser visualizado no texto à esquerda, no dia 14/08/2017, este pacote deveria estar executado 51%.

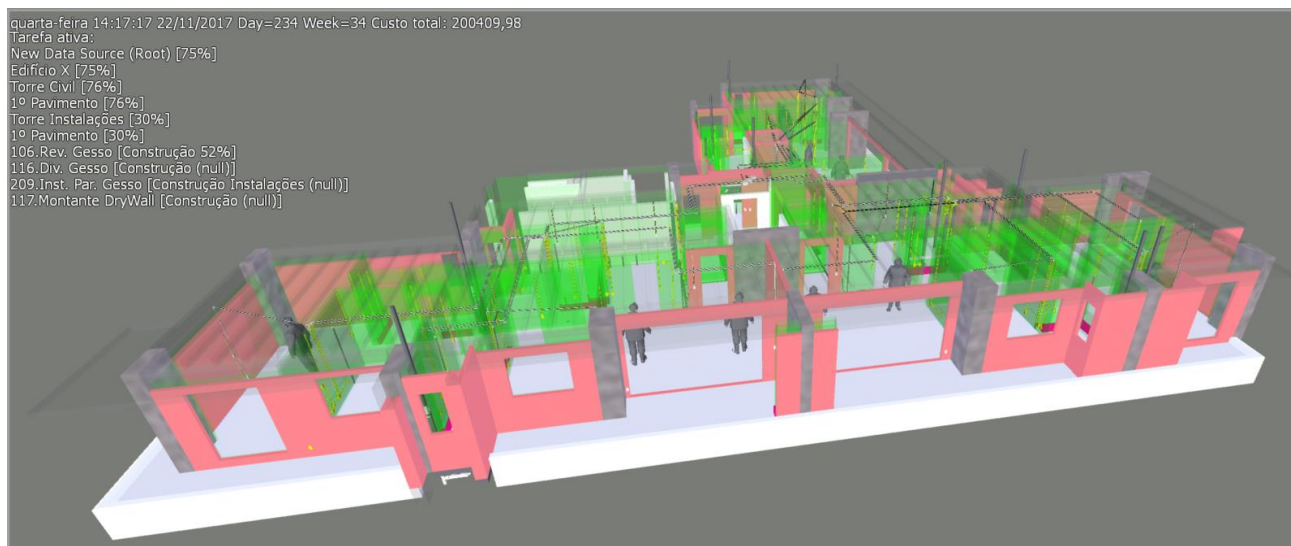
Figura 39– Simulação Impermeabilização



Fonte: Autora (2017).

A Figura 40 indica a aplicação do Revestimento de Gesso (em verde com transparência). Conforme apontado posteriormente e observado na imagem, esse pacote está acontecendo não somente nas alvenarias (cor rosa), mas também em locais onde ainda não receberam as divisórias de gesso.

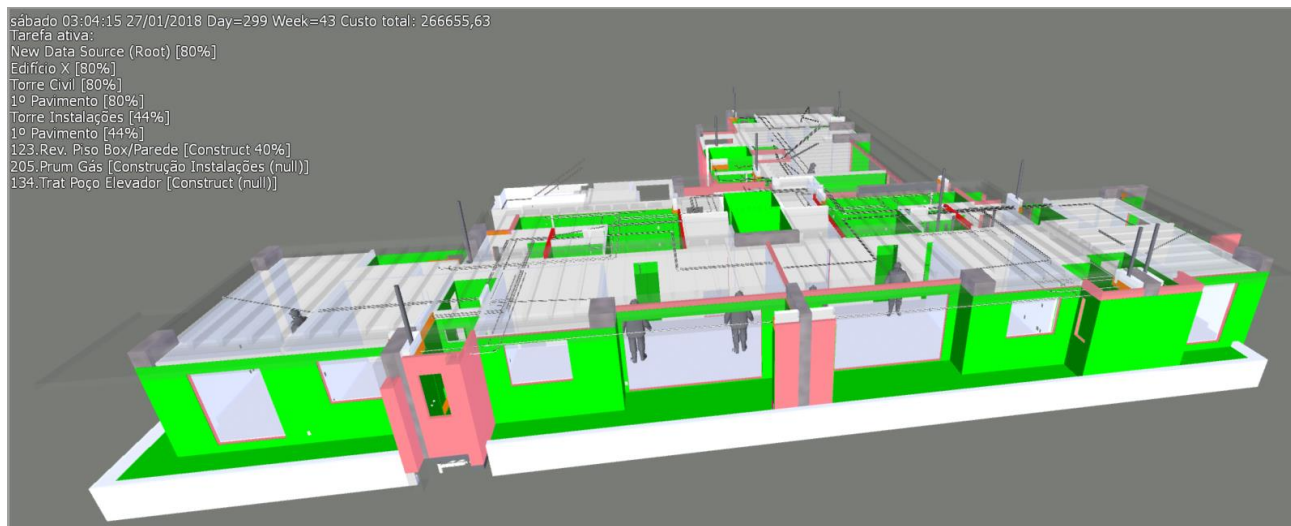
Figura 40– Simulação Revestimento Gesso



Fonte: Autora (2017).

A Figura 41 apresenta a simulação dos Revestimentos do Piso do Box e das Paredes (em verde). Apesar do nome do pacote conter somente Piso Box, o piso da varanda também é considerado.

Figura 41– Simulação Revestimento Piso Box/Paredes

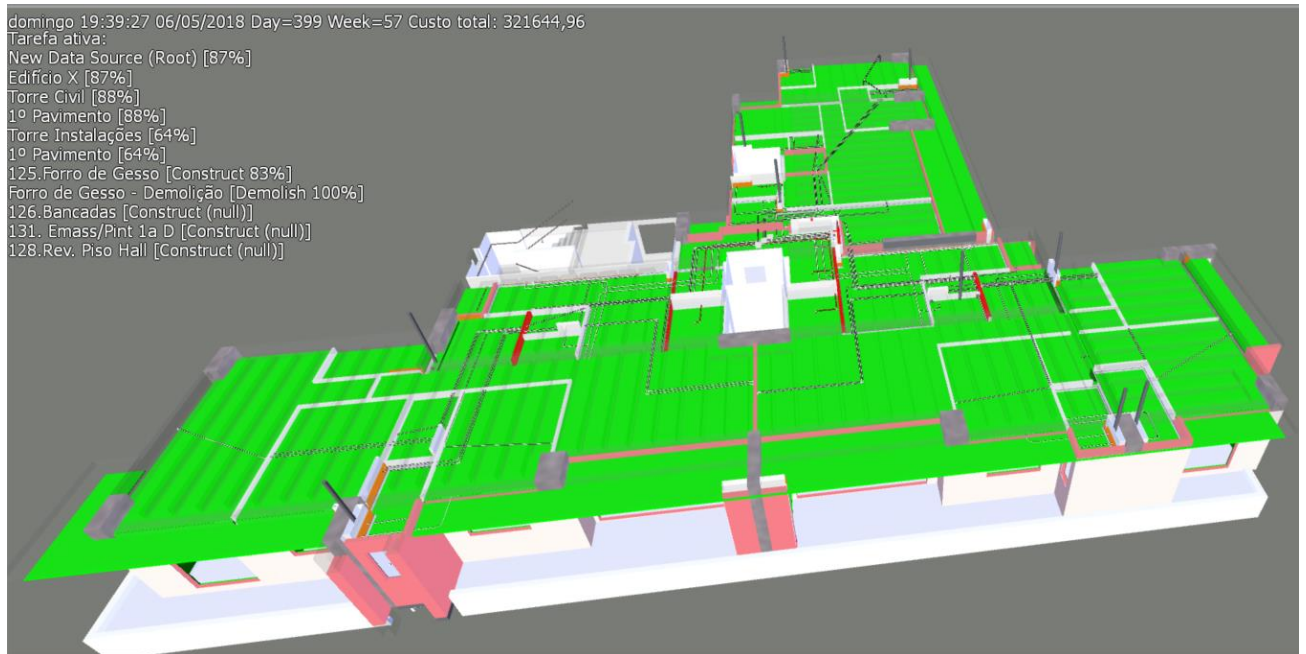


Fonte: Autora (2017).



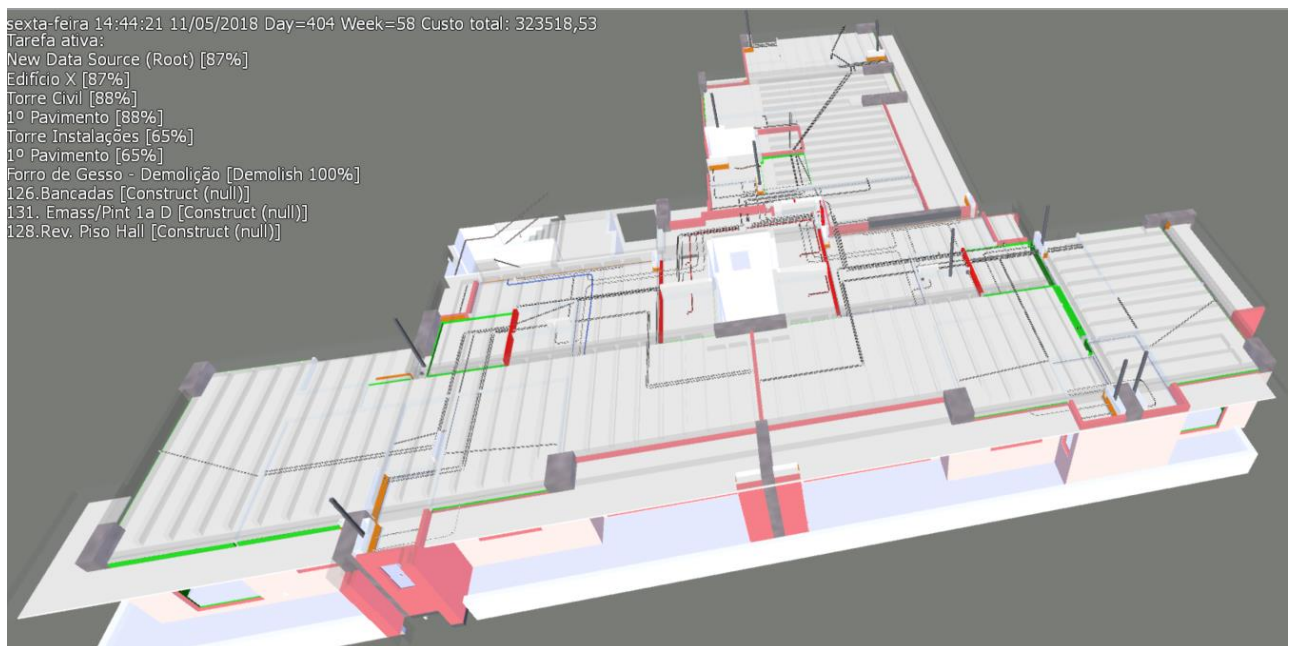
As Figuras 42 e 43 apresentam, respectivamente, a construção do forro de gesso e ele após sua execução.

Figura 42– Simulação Forro de Gesso



Fonte: Autora (2017).

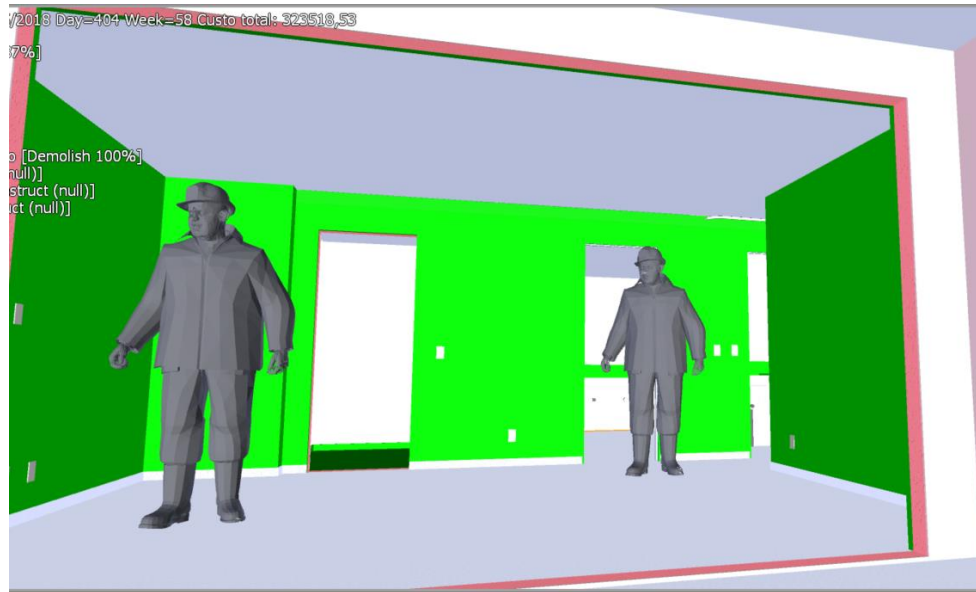
Figura 43– Forro de Gesso Executado



Fonte: Autora (2017).

A Figura 44 mostra um detalhe da simulação, onde o forro de gesso já foi executado e a Pintura 1ª Demão está iniciando.

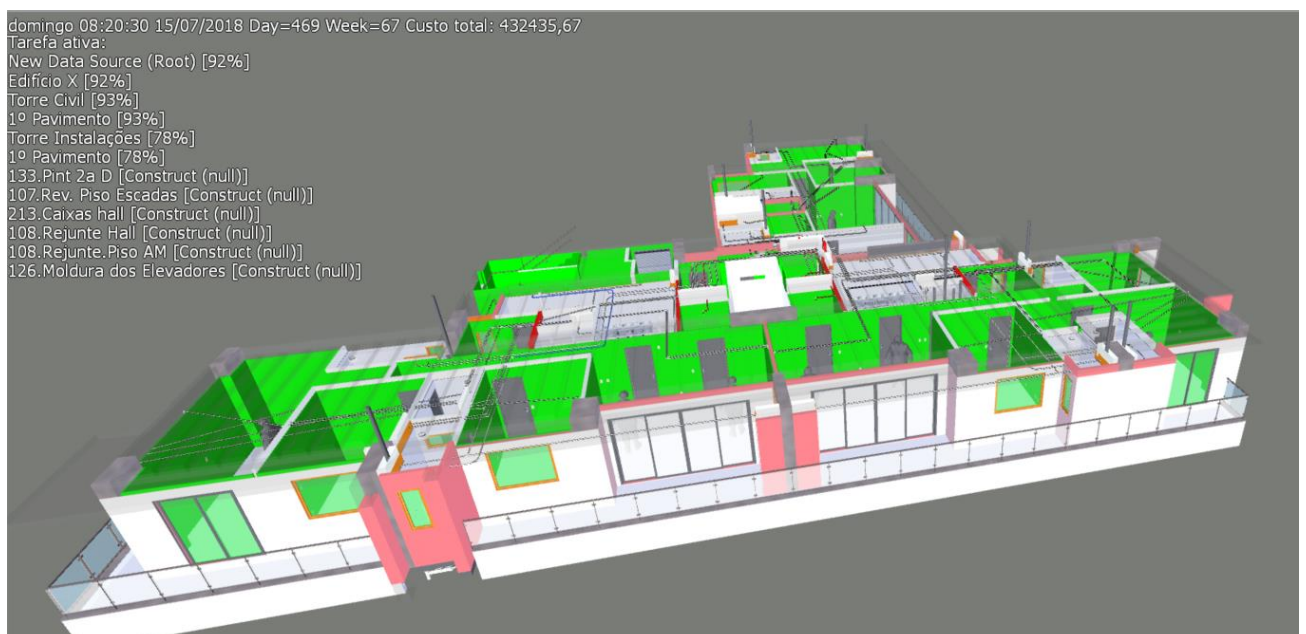
Figura 44– Detalhe Simulação



Fonte: Autora (2017).

A Figura 45 apresenta as Portas e as Esquadrias já instaladas, enquanto está sendo preparado o início da Pintura 2ª Demão.

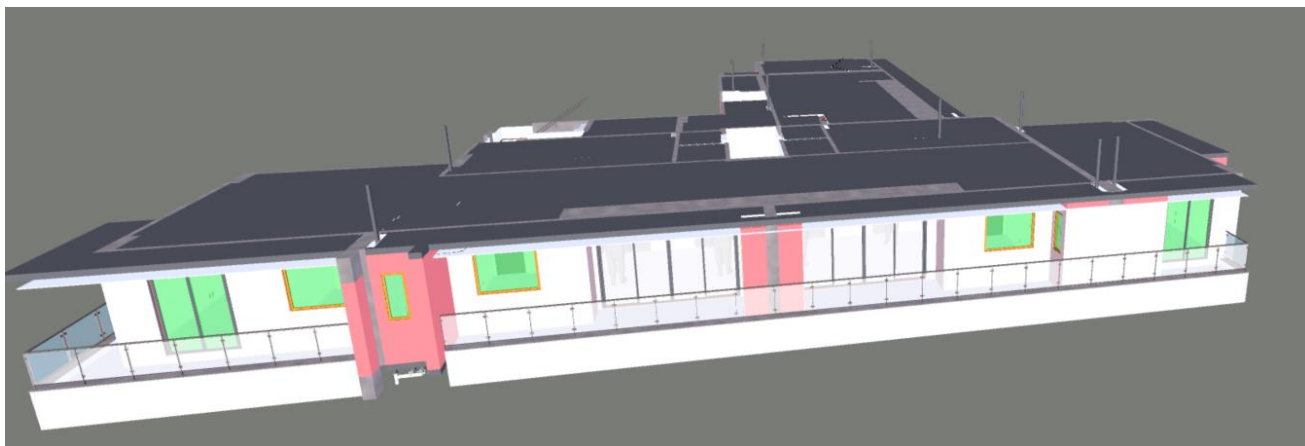
Figura 45– Portas e Esquadrias Instaladas



Fonte: Autora (2017).

Por fim, a Figura 46 apresenta o resultado final da simulação, estando o pavimento tipo completamente construído.

Figura 46– Pavimento Tipo ao final da Simulação



Fonte: Autora (2017).

#### **4.1.3 Avaliação do Planejamento de Longo e Médio Prazo**

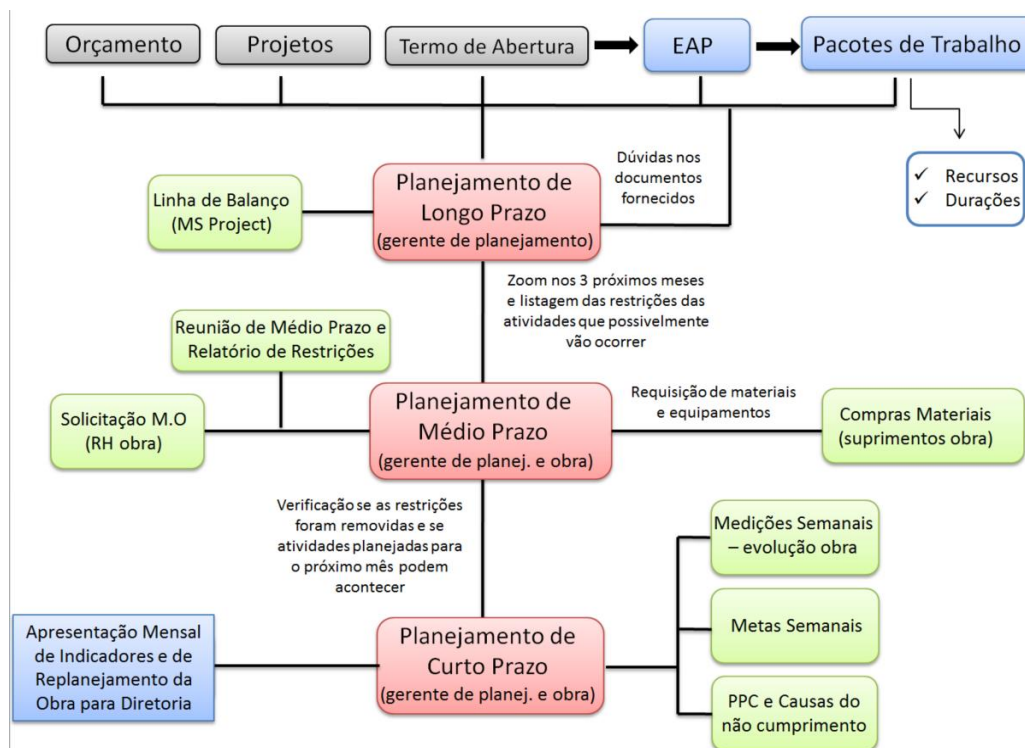
##### **4.1.3.1 Caracterização da etapa de planejamento e acompanhamento sem a utilização do BIM**

Em geral, os fluxos de informações que ocorrem durante o processo de planejamento e controle da produção tradicionalmente (sem utilização do BIM) estão relatados na Figura 47, após entrevista com participantes do estudo.

Conforme relatado em entrevista, após a obtenção dos documentos e projetos necessários para o estudo do planejamento, como orçamento atualizado, projetos e termo de abertura, é possível estruturar a EAP e desenvolver os pacotes de trabalho. Esses pacotes dependem de índices de produtividade que, normalmente, são levantados a partir de empreendimentos anteriores pela construtora ou pela empresa contratada de consultoria. Caso surjam dúvidas relacionadas a qualquer documento disponibilizado, as informações necessárias são solicitadas por *e-mail*, não havendo um controle de solicitação/resposta. O gerente de planejamento, então, desenvolve o Planejamento de Longo Prazo, utilizando a ferramenta linha de balanço no MS Project. Essa esfera *Master Plan* é detalhada, pois conta com todas as atividades que ocorrerão na obra, dentre elas estão atividades torre civil, atividades torre instalações, atividades de área comum, atividades após desmontagem do guincho cremalheira, atividades de fachada, despesas indiretas, aquisições e logística. Por seu

alto nível de detalhamento e pelo fato do gerente de planejamento desenvolver essa linha de balanço dentro do escritório, sem a validação em campo do que foi planejado e somente com uma validação visual do que está sendo mostrado no MS Project, verifica-se uma lacuna na validação da LB para um melhor acompanhamento da obra.

Figura 47– Fluxograma PCP



Fonte: Autora (2017).

Para o Planejamento de Médio Prazo, as atividades que ocorrerão nos próximos três meses são filtradas para que seja possível elencar todas as restrições relacionadas a elas. Dessa forma, é possível fazer a requisição de materiais e equipamentos, de forma a obtê-los a tempo para que a atividade possa ocorrer. Além disso, a partir do filtro de 3 meses, é possível obter o histograma de mão de obra do trimestre, e, então, contratar nova mão de obra, caso seja necessário. Essa esfera *Lookahead* é feita em reuniões de médio prazo com o engenheiro da obra, gerente de planejamento, responsável pelos suprimentos, mestre e encarregados, onde são mostradas na linha de balanço quais atividades vão ocorrer e os respectivos responsáveis vão elencando as restrições. Ao fim da reunião, é emitido um relatório com as restrições elencadas, suas datas e seus responsáveis, conforme já exemplificado na Figura 13.

Por fim, após a confirmação da remoção das restrições, as atividades planejadas para o mês seguinte de fato poderão acontecer, ocorrendo assim o Planejamento de Curto

Prazo e, conseqüentemente, permitindo o estabelecimento das metas mensais. Então, medições semanais são realizadas para atualizar a evolução da obra, as metas semanais são estabelecidas e o indicador Percentual de Planejamento Concluído (PPC) é monitorado, juntamente com as causas do não cumprimento das metas. Há, finalmente, uma apresentação mensal de indicadores e do replanejamento da obra, com novos planos de ataque, conforme alinhado com engenheiro.

#### *4.1.3.2 Comparação do modelo 4D com o modelo tradicional (sem utilização do BIM)*

O parâmetro utilidade foi analisado, inicialmente, por avaliações do planejamento e das informações obtidas pelas entrevistas feitas. A primeira análise do plano de longo prazo se deu pela avaliação da linha de balanço elaborada no MS Project. Pela ferramenta 4D pode-se verificar, por meio da simulação, se as atividades programadas realmente estavam seguindo um sequenciamento coerente com a realidade da obra; se todos os predecessores estavam sendo seguidos corretamente; e se existiam atividades se sobrepondo, o que poderia gerar um “congestionamento” no pavimento ou uma impossibilidade de se executar a atividade sucessora.

Mesmo sendo a LB uma boa representação da execução do edifício em questão, o seu entendimento, principalmente no início de sua implementação, é considerado difícil. Mesmo com a diferenciação de cores para cada pacote de trabalho, sua compreensão pode ser confusa para aqueles que não estão acostumados com sua utilização. Durante a entrevista com engenheiro da obra, percebeu-se sua pouca familiarização com as ferramentas linha de balanço e MS Project, portanto, a simulação 4D se mostrou importante para o melhor entendimento do planejamento e a validação do mesmo. Algo mencionado diversas vezes durante a entrevista, entretanto, foi a necessidade de capacitação na obra para a melhor utilização das ferramentas, pois, sem essa capacitação, haveria muita dependência com a equipe de planejamento para a sua utilização, conforme menciona o engenheiro da obra: “Implementar o BIM aumenta a colaboração entre projeto e construção sim, mas é necessário que os profissionais da obra sejam capacitados para utilizar as novas ferramentas, caso contrário não vale o investimento, a não ser que a equipe de planejamento estivesse sempre conosco no momento da utilização, porque se você chegar hoje com esse modelo para eu usar no dia a dia, não vai ajudar tanto, pois não tenho tanta habilidade com o programa (..) Visualmente tem diversas vantagens, eu estou realmente vendo o que tá acontecendo dentro da obra, mas precisa ser prático.”

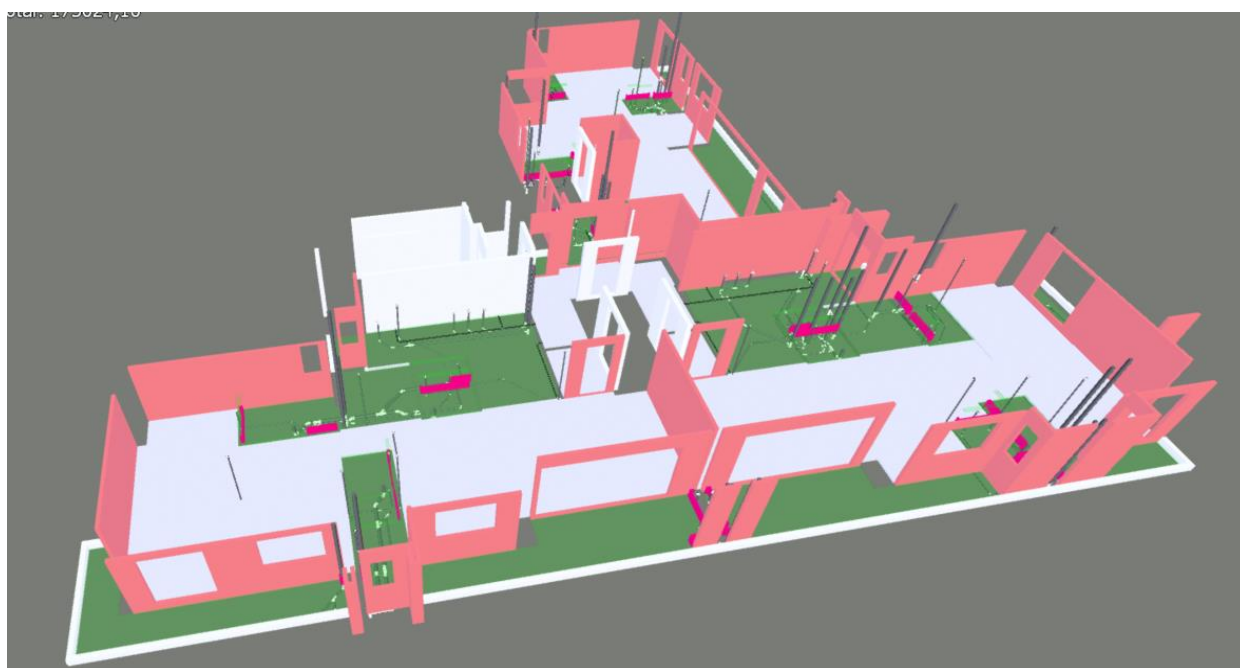


Para um melhor seguimento do planejamento, todos os envolvidos na obra devem estar cientes do fluxo de atividades e, como percebido em reunião, a simulação otimiza a compreensão e a comunicação entre os envolvidos.

Quando questionado sobre os benefícios verificados a partir da integração, o engenheiro da obra respondeu que os principais foram compatibilização do tempo e possibilidade de ver erros e incompatibilidades no planejamento, o que é interessante no momento da validação da linha de balanço base.

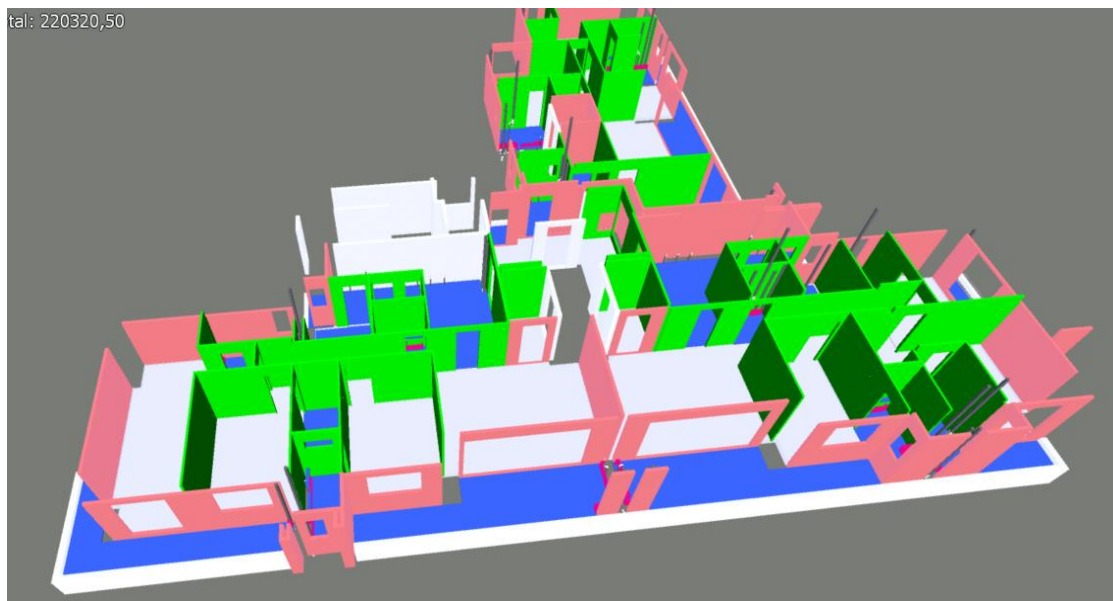
Durante a apresentação da simulação, foram observadas algumas incoerências com a realidade da obra. Um exemplo de solicitação de modificação do planejamento foi a verificação que a Impermeabilização estava acontecendo antes da Divisória de Gesso, o que gera um retrabalho, já que a equipe de impermeabilização haveria de retornar para concluir a impermeabilização da virada do bloco de gesso. Portanto, uma solução encontrada foi a divisão do pacote Divisória de Gesso em dois: Saiote e Divisória de Gesso. Essa quebra de pacote facilitaria a execução, pois a sequência de execução seria, então, Saiote -> Impermeabilização -> Divisória de Gesso. Pelas Figuras 39 e 48 percebem-se os locais onde ocorre a impermeabilização (verde), ainda sem a elevação das divisórias de gesso. Já na Figura 49, visualizam-se as paredes de gesso sendo elevadas (em verde claro), enquanto toda a impermeabilização já foi executada (azul). Ou seja, a impermeabilização da virada não foi considerada no planejamento e foi percebida somente após a visualização da simulação.

Figura 48– Execução Impermeabilização



Fonte: Autora (2017).

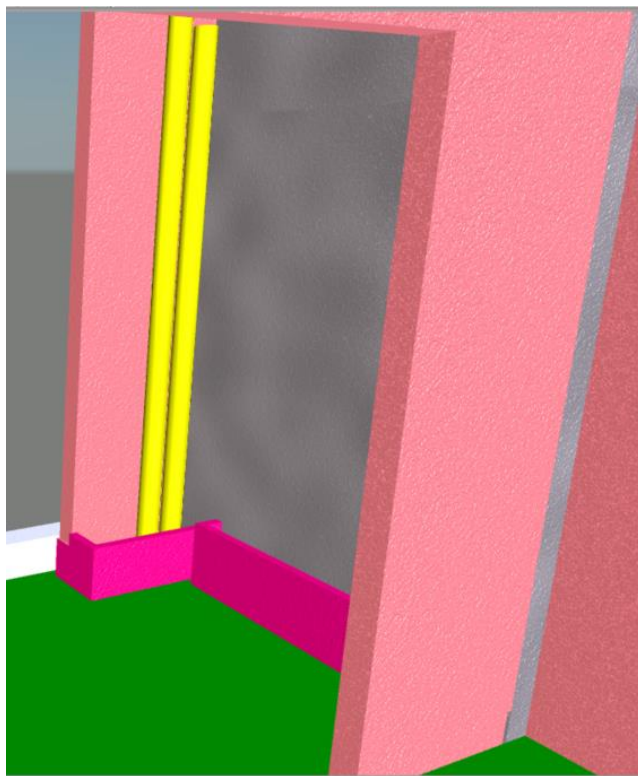
Figura 49– Execução Divisórias de Gesso



Fonte: Autora (2017).

Além disso, foi analisado que outro pacote interessante de ser dividido seria Marcação de Alvenaria devido aos Saiotes contidos nele. Os Saiotes, utilizados nos *shafts*, estavam planejados para ocorrer durante a execução da Marcação de Alvenaria, porém, após a visualização da modelagem, o engenheiro sugeriu que fossem executados somente após a colocação das Prumadas de Esgoto. O motivo dessa sugestão foi o conhecimento adquirido ao longo dos anos que, durante essa colocação, normalmente o tubo derruba os saiotes e o funcionário tem mais dificuldade de fazer o encaixe (Figura 50). Foi pontuado, também, que a execução dos Saiotes posterior à colocação das prumadas possibilitaria o aumento de área do banheiro, permitindo que os saiotes ficassem mais encostados nas instalações.

Figura 50– Execução dos Saiotes antes das Prumadas



Fonte: Autora (2017).

Foram averiguados, ainda, dois equívocos de planejamento durante a visualização do modelo 4D. A atividade Revestimento de Gesso estava contemplando todas as alvenarias e as paredes de gesso (Figura 40), porém esta atividade estava acontecendo antes da elevação das paredes de gesso. Nessa Figura, observa-se que o revestimento de gesso (cor verde com transparência 90%) está sendo executado tanto nas paredes rosadas (alvenaria bloco cerâmico) quanto em locais onde ainda não há paredes, visto que as divisórias ainda não foram construídas. Portanto, surgiu a dúvida se o erro estava em contemplar as paredes de gesso na atividade Revestimento de Gesso ou se estava em considerar a atividade Revestimento de Gesso antes de Divisória de Gesso. Ao longo da entrevista, o engenheiro da obra confirmou que o Revestimento de Gesso deveria ocorrer somente nas alvenarias de bloco cerâmico, pois o capeamento dos blocos de gesso já estava inclusos neste pacote. Mesmo assim, verificou-se indispensável que o pacote Revestimento de Gesso ocorresse após as Divisórias de Gesso para que, durante a aplicação do revestimento de gesso, o funcionário saiba onde está a divisão do ambiente. Essa mudança de sequenciamento é importante, pois nesse projeto existem ambientes lado a lado que são revestidos com porcelanato (não há necessidade de revestimento de gesso) e que são revestidos com pintura (devendo ter revestimento de gesso



aplicado anteriormente). Caso os blocos de gesso não tenham sido elevados, o funcionário estará fadado ao erro na hora da aplicação.

Por fim, outra sugestão de quebra de pacote pelo engenheiro foi em relação ao pacote Esgoto (Figura 36). O ideal é que este pacote seja dividido em Prumadas Esgoto e Ramais Esgoto, visto que o método de execução dos ramais pela construtora é realizando esse pacote somente após o Revestimento de Piso.

Esses exemplos de tomadas de decisão e entendimento das informações fornecidas pelo planejamento, verificando incompatibilidades e erros de sequenciamento com antecedência, permite que seja organizado e estudado um melhor plano de ataque para cada situação, havendo um ganho de tempo (evita-se retrabalhos) e uma coerência com a realidade da obra, confirmando o estudo de Khan (2016) o qual foi mostrado que a interação do BIM com o *Lean* reduziu desperdício e aumentou a eficiência do processo, melhorando o fluxo de trabalho.

Portanto, confirmando a discussão do estudo sobre integração do BIM com o *Last Planner* dos autores Tillmann and Sargent (2016), os resultados apresentados da aplicação do BIM no planejamento de longo prazo confirmam que o BIM pode oferecer um excelente apoio aos planejadores e engenheiros para entender o que deve (*should*) ser feito, ajudando-os a tomar decisões.

Para a avaliação do plano de médio prazo foram filtrados 3 meses de obra para que se verificasse se houve melhoria na listagem das restrições. Durante a simulação, as atividades que estão ocorrendo são mostradas ao lado, juntamente com sua porcentagem de execução, o que facilita no momento de elencar as restrições (Figura 51). Pela aba *Simulation Settings* (Figura 52) pode-se filtrar os três meses para fazer a reunião de Médio Prazo e, na simulação, só aparecerão atividades contidas nesse período de tempo. Na aba *timeliner* (Figura 53) ou na própria tela da simulação (Figura 51) são listadas as atividades que estão ocorrendo e sua porcentagem de execução. Essa ferramenta, juntamente com a visualização da construção, possibilita a listagem das restrições, conforme mostra a tabela 4. As atividades visualizadas que começam no trimestre escolhido foram: Rejunte Piso Área Seca, Revestimento Gesso, Divisória Gesso, Instalações Parede Gesso, Montante *Drywall*, Inst Água Fria/Água Quente. Isométrico, Corrimão Escada, Fechamento *Drywall*, Prumada Elétrica e Revest Piso Box/ Parede. As suas datas de início e término estão abaixo de *Planned Start* e *Planned End*, respectivamente (Figura 53).

Figura 51– Informações Simulação

```
sábado 01:06:02 09/12/2017 Day=54 Week=8 Custo total: 217780,61
Tarefa ativa:
New Data Source (Root) [73%]
Edifício X [73%]
Torre Civil [71%]
1º Pavimento [77%]
Torre Instalações [31%]
1º Pavimento [34%]
116.Div. Gesso [Construct 64%]
209.Inst. Par. Gesso [Construct (null)]
```

Fonte: Autora (2017).

Figura 52– Configuração da Simulação

Simulation Settings

Start / End Dates

☒ Override Start / End Dates

Start Date  
07:00:00 01/11/2017

End Date  
16:48:00 01/02/2018

Interval Size

5 Percent

☒ Show all tasks in interval

Playback Duration (Seconds)

120

Overlay Text

Edit Top

Animation

No Link

View

☒ Planned  
☐ Planned (Actual Differences)  
☐ Planned against Actual  
☐ Actual  
☐ Actual (Planned Differences)

OK Cancel Help

Fonte: Autora (2017).

Figura 53 – Informações Simulação na Aba *Timeliner*

		Name	Status	Planned Start	Planned End			Name	Status	Planned Start	Planned End
75,08%		New Data Source (Root)		06/01/2015	30/10/2018	76,79%		New Data Source (Root)		06/01/2015	30/10/2018
75,08%		Edifício X		06/01/2015	30/10/2018	76,79%		Edifício X		06/01/2015	30/10/2018
75,7%		Torre Civil		06/01/2015	19/10/2018	77,42%		Torre Civil		06/01/2015	19/10/2018
75,7%		1º Pavimento		06/01/2015	19/10/2018	77,42%		1º Pavimento		06/01/2015	19/10/2018
Pending		106.Rev. Gesso		20/11/2017	24/11/2017	Pending		117.Montante DryWall		15/12/2017	22/12/2017
95,18%		108.Rejunte.Piso AS		13/11/2017	17/11/2017	93,67%		116.Div. Gesso		04/12/2017	11/12/2017
29,91%		Torre Instalações		22/06/2017	30/10/2018	34,71%		Torre Instalações		22/06/2017	30/10/2018
29,91%		1º Pavimento		22/06/2017	30/10/2018	34,71%		1º Pavimento		22/06/2017	30/10/2018
						Pending		209.Inst. Par. Gesso		12/12/2017	19/12/2017

		Name	Status	Planned Start	Planned End			Name	Status	Planned Start	Planned End
78,09%		New Data Source (Root)		06/01/2015	30/10/2018	78,86%		New Data Source (Root)		06/01/2015	30/10/2018
78,09%		Edifício X		06/01/2015	30/10/2018	78,86%		Edifício X		06/01/2015	30/10/2018
78,73%		Torre Civil		06/01/2015	19/10/2018	79,51%		Torre Civil		06/01/2015	19/10/2018
78,73%		1º Pavimento		06/01/2015	19/10/2018	79,51%		1º Pavimento		06/01/2015	19/10/2018
20,65%		129. Corrimão da Escada		29/12/2017	29/12/2017	65,52%		115.Fechamento.DryWall		04/01/2018	11/01/2018
38,37%		Torre Instalações		22/06/2017	30/10/2018	40,54%		Torre Instalações		22/06/2017	30/10/2018
38,37%		1º Pavimento		22/06/2017	30/10/2018	40,54%		1º Pavimento		22/06/2017	30/10/2018
36,68%		204.Inst. A.F./A.Q. Iso.		26/12/2017	03/01/2018						

		Name	Status	Planned Start	Planned End
79,83%		New Data Source (Root)		06/01/2015	30/10/2018
79,83%		Edifício X		06/01/2015	30/10/2018
80,48%		Torre Civil		06/01/2015	19/10/2018
80,48%		1º Pavimento		06/01/2015	19/10/2018
Pending		123.Rev. Piso Box/Parede		23/01/2018	01/02/2018
43,26%		Torre Instalações		22/06/2017	30/10/2018
43,26%		1º Pavimento		22/06/2017	30/10/2018
30,13%		202.Prum. Elét.		22/01/2018	23/01/2018

Fonte: Autora (2017).

Tabela 4– Restrições Atividades

Tipo Res.	Descrição	Responsável	Límite	Término	Status
<b>Rejunte Piso AS</b>					
Material - Rejuntamento	Entrega de rejunte dos apartamentos.	Savio	27/10/2017		Pendente
Mão de Obra - Rejuntamento	Contratação de equipe para execução de rejuntamento e proteção de piso.	Xavier	30/11/2017		Pendente
<b>Revestimento Gesso</b>					
Material - Revestimento Gesso Áreas Secas	Solicitar gesso para revestimento de gesso de áreas secas.	Xavier	04/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Gesso Áreas Secas	Compra de gesso para revestimento de gesso de áreas secas.	Savio	11/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Gesso Áreas Secas	Entrega do gesso para revestimento de gesso de áreas secas.	Savio	31/01/2018		Pendente
<b>Divisória Gesso</b>					
Mão de Obra - Divisória de Gesso	Contratar Equipe para execução de Divisórias de gesso.	Xavier	15/11/2017		Pendente
<b>Drywall</b>					
Material - Drywall	Solicitação chassi para montante de drywall.	Xavier	04/12/2017		Pendente

Material - Drywall	Compra de chassi para montante de drywall.	Xavier	11/12/2017		Pendente
Material - Drywall	Entrega de chassi para montante de drywall.	Xavier	09/01/2018		Pendente
<b>Revestimento Piso Box/ Parede</b>					
Material - Revestimento Parede	Solicitar cantoneira para assentamento de revestimento de parede.	Xavier	04/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Parede	Compra de cantoneira para assentamento de revestimento de parede.	Savio	11/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Parede	Entrega de cantoneira para assentamento de revestimento de parede.	Savio	19/01/2018		Pendente
Material - Revestimento Parede	Solicitar silicone para assentamento de cantoneira.	Xavier	04/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Parede	Compra de silicone para assentamento de cantoneira.	Savio	11/12/2017		Pendente
Material - Revestimento Parede	Entrega de silicone para assentamento de cantoneira.	Savio	19/01/2018		Pendente
<b>Prumadas Elétricas</b>					
Material - Prumadas Elétricas	Solicitar material de prumada elétrica.	Xavier	04/12/2017		Pendente
Material - Prumadas Elétricas	Compra de material de prumada elétrica.	Savio	11/12/2017		Pendente
Material - Prumadas Elétricas	Entrega de material de prumada elétrica.	Savio	19/01/2018		Pendente

Fonte: Autora (2017).

A utilidade do modelo 4D foi confirmada pela obtenção de informações antecipadamente e melhor entendimento das informações mostradas no planejamento. A análise do modelo 4D permite que se visualize detalhadamente as atividades em execução ao longo do tempo (hora, dia, semana ou mês). Por conseguinte, a interpretação desse planejamento se torna mais visual do que conceitual; diminuindo a complexidade e aumentando sua assertividade.

Durante a entrevista com engenheiro de planejamento foram discutidos os benefícios que a visualização do fluxo de elementos de canteiro traz para o desenvolvimento do planejamento da obra e para as tomadas de decisão referentes a equipes de trabalho e liberação de atividades. Como os elementos de canteiro não foram muito explorados no modelo apresentado pela autora, sugeriu-se representar completamente o canteiro de obra com o intuito de verificar esses fluxos de materiais e pessoas, além do armazenamento e estoque.

O último momento da entrevista constou com o preenchimento de uma tabela que continha os princípios *Lean* e utilidades BIM. A tabela foi baseada no *framework* apresentado

por Mendes Jr *et al.* (2014) que apresenta a integração entre BIM e construção enxuta, aplicada ao PCP. Além disso, a tabela também se baseia nas interações propostas por Sacks *et al* (2010). Os engenheiros, após familiarização com o modelo 4D, preencheram e pode-se identificar as sinergias constadas na tabela 5.

Os resultados encontrados a partir dessa tabela corroboram com as matriz desenvolvidas por Sacks *et al* (2010), Mendes Jr *et al* (2014), Khan e Tzortzopoulos (2014) e Khan (2016), apesar de focar somente nos princípios e ferramentas utilizados no presente trabalho.

#### 4.1.3.3 Dificuldades encontradas

Como mostrado acima, o resultado principal da pesquisa foi uma simulação 4D da construção de um pavimento do Edifício X no *software* Navisworks. Para avaliação do parâmetro facilidade de uso, foram listadas as principais dificuldades encontradas:

- a) Tempo dispendido na modelagem pela autora, devido a não familiaridade com a ferramenta Navisworks;
- b) Falta de conhecimento do programa pela equipe da obra, sendo necessário que a autora estivesse presente no momento da utilização;
- c) Modelagem de elementos de canteiro, pois, além de ser necessário um estudo mais aprofundado, os pavimentos que normalmente recebem os estoques (pilotis, térreo, subsolos) não foram modelados;
- d) Modelagem de elementos de fachada, devido à sua complexidade;

Portanto, apesar dos benefícios pontuados nas entrevistas, para uma completa exploração dos recursos disponibilizados pela integração, é necessário maior estudo e treinamento para que se possa superar as dificuldades listadas acima.

Tabela 5– Sinergias BIM/*Lean*

PRINCÍPIOS <b>LEAN</b>	Redução de variabilidade (reduzir incertezas)	Redução do tempo de ciclo (redução do tempo realizando tarefas que não agregam valor)	Maior Controle	Gestão Visual - Transparência	Validação	Aumentar Flexibilidade	Padronização	Melhoria Contínua do Processo
FUNCIONALIDADES <b>BIM</b>								
Fonte única de informação	3	2	3	3	3	2	3	3
Cheragem de incompatibilidades físicas automatizadas	3	2	3	3	3	3	3	3
Geração automatizada de tarefas de construção	0	0	0	0	0	0	0	0
Simulação do processo de construção	3	3	3	3	3	2	2	3
Visualização em modelos BIM 4D	3	3	3	3	3	2	2	3
Visualização de status do processo	2	2	3	3	2	2	2	3
Comunicação online do produto e processo	0	0	0	0	0	0	0	0
Colaboração de Projeto e Construção	3	3	3	3	3	3	3	3
Rápida geração e avaliação de múltiplas alternativas de planejamento da construção	2	2	3	3	3	2	2	2

1	Pouca Integração
2	Alguma Integração
3	Muita Integração
0	Não se aplica

Fonte: Autora (2017).

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 Conclusões

O presente trabalho pretendeu desenvolver e utilizar um modelo BIM 4D para apoiar o planejamento e acompanhamento de uma obra de construção civil localizada em Fortaleza, analisando a viabilidade, eficiência e benefícios que a integração do BIM com o *Last Planner* pode trazer à comunidade. O trabalho apresentou os benefícios esperados dessa integração com base na literatura e comparou com a implementação e as lições aprendidas no estudo de caso, que foi focado em um pavimento tipo, por acreditar que este representa a repetição dentro do pavimento. Portanto, o objetivo geral do trabalho foi atendido.

A definição de conceitos e aplicações do BIM e da Construção Enxuta, com enfoque no sistema *Last Planner* foi obtida através do referencial teórico abordado no capítulo dois, onde se pode perceber o avanço de entendimento e aplicação das ferramentas e dos princípios separadamente, mas também a existência de uma lacuna no estudo do BIM integrado ao *Last Planner*.

A modelagem em BIM 4D do Edifício X para o estudo dos planejamentos de longo e médio prazo foi alcançada e, pela análise dos pontos positivos e negativos da aplicação desse modelo, é possível concluir que sua utilização colabora na validação da linha de base do Edifício X, inicialmente desenvolvida na ferramenta MS Project, o que torna o planejamento de longo prazo mais eficiente e assertivo. Essa colaboração é provada pelas cinco importantes observações de mudanças sugeridas pelo engenheiro de obra e de planejamento para que o planejamento estivesse mais alinhado com a realidade da obra. Essas mudanças foram solicitadas com antecedência graças à visualização da construção gerada pelo modelo, o que, segundo os entrevistados, diminuiu possíveis retrabalhos e variabilidades, aumentou o controle da obra, melhorou a gestão visual e promoveu a melhoria contínua.

Concomitantemente, houve benefícios no momento em que foram listadas as restrições das atividades que ocorrerão em certo período de tempo, pois a visualização dos pacotes de trabalho na tela do modelo facilitou o entendimento, já que o engenheiro da obra não era tão familiarizado com a filtragem por data na ferramenta MS Project.

Além disso, nas entrevistas realizadas, algumas sinergias entre a ferramenta BIM e os princípios *Lean* foram pontuadas a partir do entendimento do modelo apresentado. Entre elas, tem-se que as funcionalidades BIM: Simulação do Processo de Construção e Visualização em Modelos BIM 4D possuem integração direta com os princípios *Lean*:

Redução da Variabilidade (incertezas), Redução do Tempo de Ciclo (atividades que não agregam), Maior Controle, Gestão Visual (transparência), Validação e Melhoria Contínua do Processo. Portanto, as interações que emergiram do estudo de pesquisa apoiaram as hipóteses em Sacks *et al.* (2010), Mendes Jr *et al* (2014) e Khan e Tzortzopoulos (2014).

Por fim, algumas dificuldades foram percebidas durante o estudo de caso e indicadas pela autora, como tempo gasto pela não familiarização com o programa utilizado, falta de capacitação da obra e dificuldade na modelagem de elementos de canteiro e de fachada, devido à sua complexidade. Esses obstáculos levam à conclusão de que, apesar de ser viável por seus benefícios descritos acima, para haver uma completa utilização da integração BIM e *Last Planner* é necessário mais capacitação e treinamento.

## 5.2 Recomendações

A partir da elaboração deste trabalho, alguns temas foram identificados como sugestão para trabalhos futuros:

- a) Acrescentar ao modelo proposto os elementos de canteiro e elementos de fachada;
- b) Estudar a utilização do BIM para elaboração do planejamento de Curto Prazo, transmitindo a programação semanal de serviços da obra;
- c) Elaborar ferramenta que vincule automaticamente ferramentas de controle, como linha de balanço, sequenciamento, custos e histograma de mão de obra ao modelo BIM 4D;
- d) Avaliar a aplicação das demais dimensões de informações (nD) dos modelos BIM, estudando como podem auxiliar na tomada de decisão;
- e) Comparar ferramentas de modelagem;
- f) Testar visualizadores e extração da informação.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. **Técnicas de planejamento e controle**. Rio Grande: FURG – CTI, 2006.

ALVES, T. C.L.; BARROS NETO, J. P.; HEINECK, L. F. M.; SERGIO, L.; PEREIRA, P. E. **Incentives And Innovation To Sustain Lean Construction Implementation**. Proc. 17st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2009, Taipei. **Anais...** Taipei, Taiwan: IGLC, 2009, p. 583–592.

ALVES, T. C. L. Aplicação de Conceitos, Princípios e Ferramentas da Produção Enxuta na Construção Civil. In: **Construção Civil: Uma Abordagem Macro da Produção ao Uso**. João Pessoa: Organização Nelma M. C. Araújo, p 37-60, 2010.

AUTODESK. **Autodesk Revit Architecture**. Disponível em: <  
<http://www.autodesk.com.br/adsk/servlet/item?siteID=1003425&id=11098507> > Acesso em: 24/09/2017.

AUTODESK. **Funcionalidades Navisworks**. Disponível em: <  
<https://www.autodesk.com.br/products/navisworks/features> > Acesso em: 24/09/2017.

AVAL ENGENHARIA. Relatório de Causas do Não Cumprimento das Metas. Disponível em: <  
<http://avalengenharia.eng.br/>> Acesso em: 20/09/2017.

BALLARD, G. **The Last Planner System of Production Control**. 2000. Thesis (Doctor of Philosophy) – *School of Civil Engineering, Faculty of Engineering*. University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 79-96, abr./jun. 2015.

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

BHATLA, A.; LEITE, F. **Integration Framework Of Bim With The Last Planner System**. Proc. 20st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2012, San Diego. **Anais...** San Diego, EUA: IGLC, 2012, 2012.

BOLPAGNI, M.; BURDI, L.; CIRIBNI, A. **Integration of Lean Construction and Building Information Modeling in a Large Client Organization in Massachusetts**. Proc. 25st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2017, Heraklion. **Anais...** Heraklion, Greece: IGLC, 2017, 2017.

BRITO, D. M. de; FERREIRA, E. de A. M. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 203-223, out./dez. 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Fundamentos**

**BIM – Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.** Brasília: CBIC, 2016.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Colaboração e integração BIM - Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.** Brasília: CBIC, 2016.

CAMP, R. C. **Benchmarking: The Search For Industry Best Practices that Lead to Superior Performance.** Milwaukee: Asuc, 1989.

CARNEIRO, J. Q. **Aplicação Do Método Da Linha De Balanço Em Obras Industriais: Estudo De Caso Na Refinaria Petrobras/Lubnor.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

COLLIS, J; HUSSEY, R. **Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração.** 12. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DANTAS FILHO, J. B. P; CÂNDIDO, L. F; BARROS NETO, J. P. **Sinergia entre Construção Verde, Construção Enxuta e BIM para internacionalização da construção: uma revisão sistemática da literatura.** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2016.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineer, and contractors.** New Jersey, 2011.

FAUCHIER, D.; ALVES, T. **Last Planner® System is the Gateway to Lean Behaviors.** Proc. 21st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2013, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, Brazil: IGLC, 2013, pp. 559-568.

FILIPPI, G. A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 161-173, 2015.

FORMOSO, C. **Planejamento e Controle da produção em empresas de construção.** Porto Alegre, NORIE, UFRGS, 2001.

FOSSE, R.; BALLARD, G.; FISHER, M. **Virtual Design and Construction- Aligning BIM and Lean in Practice.** Proc. 25th Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2017, Heraklion. **Anais...** Heraklion, Greece: IGLC, 2017, 2017.

GARRIDO, M. C.; MENDES JR, R.; SCHEER, S.; CAMPESTRINI, T. F. **Using BIM for Last Planner System: Case Studies in Brazil.** Computing in Civil Engineering, 2015.

- HUSSEIN, Z. **Using Building Information Modeling (BIM) and the Last Planner System (LPS) to Reduce Construction Process Delay**. Thesis (Masters in Civil Engineering). Western Kentucky University, U.S, 2016.
- KHAN, S.; TZORTZOPOULOS, P. **Effects Of The Interactions Between Lps And Bim On Workflow In Two Building Design Projects**. Proc. 22st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2014, Oslo. *Anais...Oslo*, Norway: IGLC, 2014, pp. 933-944.
- KHAN, S. **Using The Last Planner System To Improve Workflow In Bim-Based Building Design Projects**. Thesis (Doctor of Philosophy) – *School of Art, Design and Architecture and School of the Built Environmen* . University of Huddersfield, U.K, 2016.
- KREIDER, R.; MESSNER, J.; DUBLER, C. **Determining The Frequency And Impact Of Applying B For Different Purposes On Projects**. p. 1–10, 2010.
- KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford University, CIFE, 1992.
- LIN, T. Y. **A importância do Benchmarking para as empresas numa economia competitiva**. Dissertação, 1999.
- MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1º ed. São Paulo. PINI, 2010.
- MAZIERO, L. T. P. **Aplicação do conceito do método da linha de balanço no planejamento de obras repetitivas**: Um levantamento das decisões fundamentais para sua aplicação. Florianópolis: UFSC, 1990.
- MENDES JR, R.; SCHEER, S.; GARRIDO, M.; CAMPESTRINI, T. F. **Integração Da Modelagem Da Informação Da Construção (Bim) Com O Planejamento E Controle Da Produção**. ENTAC, Maceió, 2014.
- OHNO, T. **Toyota Production System: beyond Large-Scale Production**. Productivity Press, 1988.
- OLIVEIRA, P. H. do P. **Modelagem 4d Aplicada Ao Planejamento De Curto Prazo De Um Pavimento Tipo**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- Project Management Institute. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos** (guia PMBOK). PMI, 2013.
- QUEIROZ, P. **Descrição De Um Modelo De Planejamento E Acompanhamento De Obras Verticais: Estudo De Caso De Uma Empresa De Consultoria Em Fortaleza/CE**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- RICHARDSON, R. J. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- RISCHMOLLER, L.; ALARCON, L.F.; KOSKELA, L. Improving Value Generation in the Design Process of Industrial Projects Using CAVT. **Journal of Management in Engineering**,

2006.

SACKS, R.; BARAK, R.; BELACIANO, B.; GUREVICH, U; PIKAS, E. KanBIM Workflow Management System:Prototype implementation and field testing. **Lean Construction Journal**, p. 19–35, 2013.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B.; OWEN, R. **Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction**. v. 136, n. September, p. 968–980, 2010.

SACKS, R.; TRECKMANN, M; ROZENFELD, O. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **J. Constr. Eng. Manage.**, 2009, 135(12): 1307-1315.

SALMON, J. The Legal Revolution in Construction. **Journal of Building Information Modeling**, 2009.

TILLMANN, P.; SARGENT, Z. **Last Planner & Bim Integration- Lessons From a Continuous Improvement Effort**. Proc. 24st Ann. Conf. International Group for Lean Construction, 2016, Boston. **Anais...**Boston, EUA: IGLC, 2016, sect.6 pp. 113-122.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza, 2013.

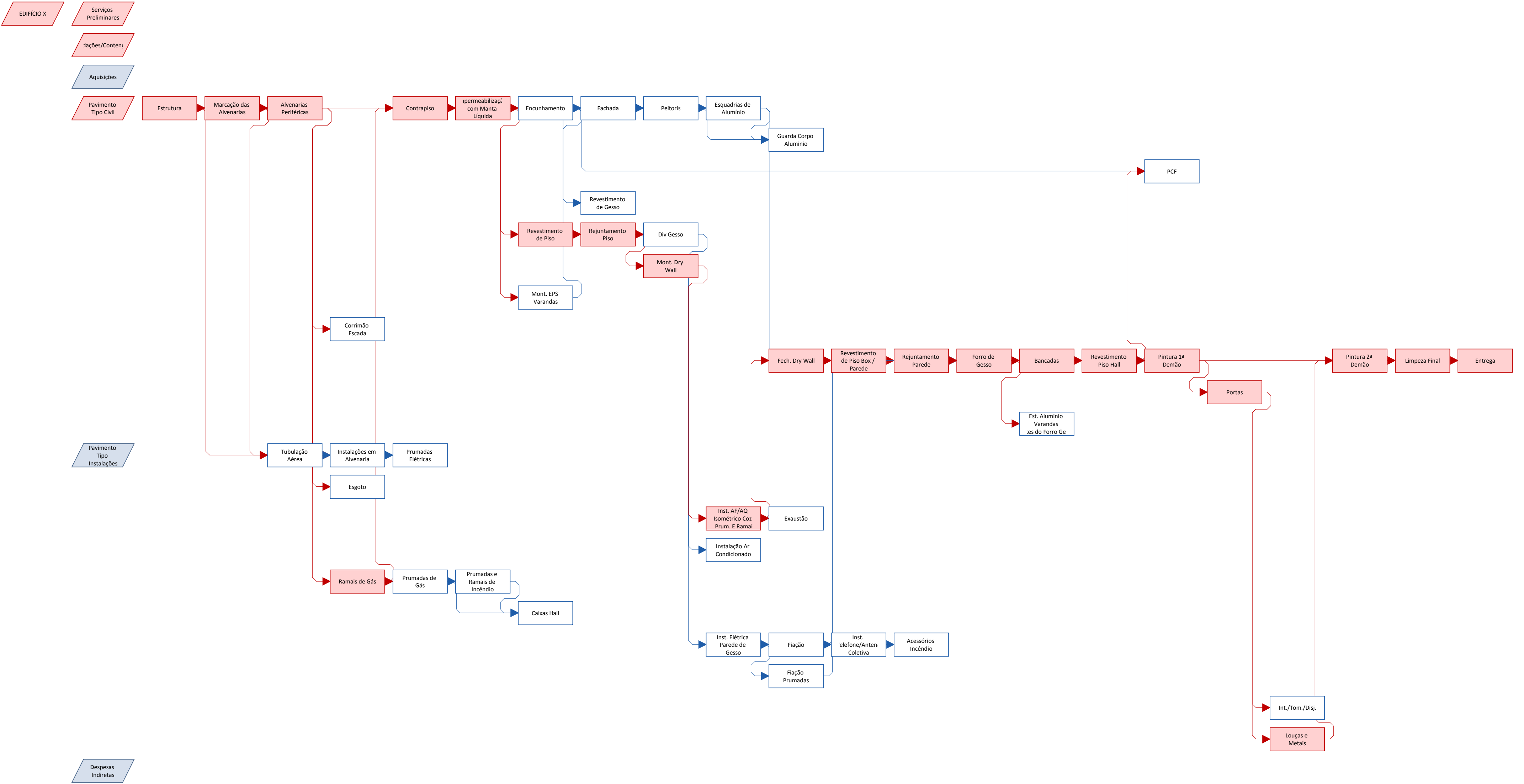
VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

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

YIN, R. N. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

**APÊNDICE A – EAP COM REDE DE PREDECESSORES**

EDIFÍCIO X - EAP COM REDE DE PREDECESSORES



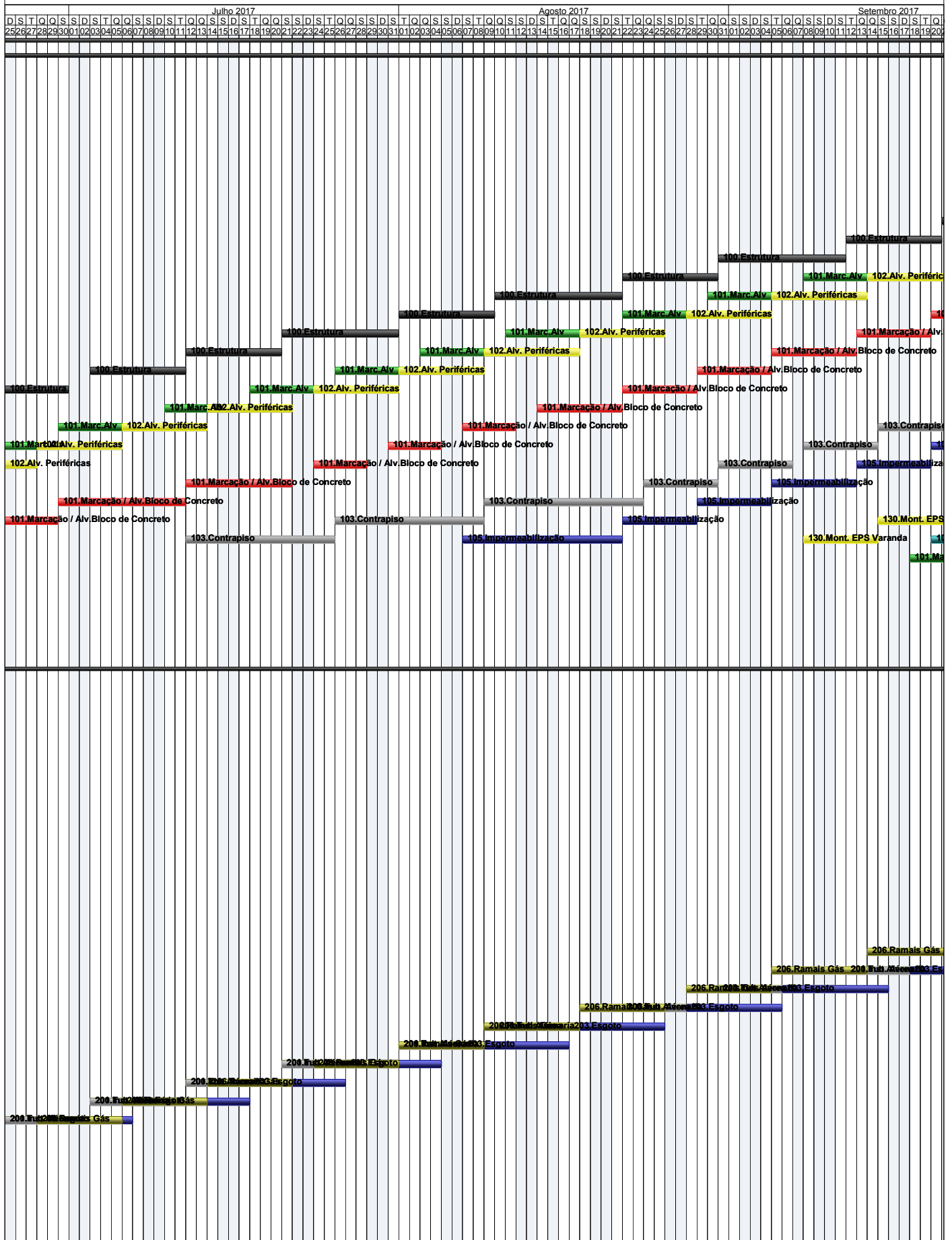
**APÊNDICE B – PARTE DA LB BASE DO EDIFÍCIO X**

## EDIFÍCIO X - LB BASE

[illegible]



## EDIFÍCIO X - LB BASE



## APÊNDICE C - ROTEIRO DAS ENTREVISTAS

### PARTE I - CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

- (1) Quantos anos possui a empresa? Ela conta com quantos funcionários aproximadamente? Conte um pouco da sua função na empresa, há quanto tempo você atua nela e a atuação da empresa em seu setor.
- (2) Quantos projetos a empresa possui em andamento? Qual tipo? São, em geral, com o mesmo porte e características?
- (3) A empresa utiliza o BIM e os princípios *Lean*? Se sim, há quanto tempo? Existe algum processo mapeado para a utilização dessas “ferramentas”?
- (4) Na obra em questão, em que momento os princípios *Lean* são utilizados? E as ferramentas BIM? Existe alguma comparação de indicadores antes de sua implementação e após?
- (5) Qual sua familiarização com as ferramentas Linha de Balanço e MS Project?

### PARTE II - CARACTERIZAÇÃO DA ETAPA DE PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO SEM A UTILIZAÇÃO DE BIM

- (1) Quais são as etapas na execução de um planejamento? É um processo mapeado? Quais são as ferramentas utilizadas e quais os responsáveis pelo planejamento?
- (2) Quais projetos e informações são necessários para elaboração do planejamento da obra? Como são repassadas estas informações?
- (3) Caso essas informações não sejam obtidas a tempo, o processo de planejamento é iniciado sem elas? Como é a comunicação entre a consultoria contratada e o contratante para solicitação de informações?
- (4) De que forma os horizontes de planejamento Longo, Médio e Curto Prazo são abordados?
- (5) Como são definidas as atividades que compõe o planejamento? Quem os define? Como essas atividades são agrupadas? Como é definida a sequência das atividades e suas durações? Como é definida a produtividade como pressuposto para o planejamento? Os clientes possuem tabelas próprias ou a empresa sugere estes índices?
- (6) Existe um estudo dos fluxos de trabalho (lotes de produção gerencial –pavimento- e estratégico –torre-) na fase planejamento? Há a definição do plano de ataque do empreendimento, baseado nesse estudo?
- (7) Existe um estudo dos elementos de canteiros necessários para a execução da obra, como equipamentos de transportes (grua, cremalheira) e outros elementos, como betoneira,

argamassadeira, pallets, etc? Existe um padrão para posicionamento destes equipamentos? Qual? Como isto interfere no planejamento da produção?

(8) Quais os produtos entregues para o cliente, quando o mesmo contrata um serviço de planejamento?

(9) Quais as principais dificuldades observadas durante um planejamento? Existe um mapeamento dessas dificuldades e sucessiva busca por melhorias?

(10) Como ocorre o acompanhamento de uma obra, ou seja, quais suas etapas? De quanto em quanto tempo o acompanhamento é feito? Quais tipos de reuniões são feitas? Quais ferramentas são utilizadas?

(11) Quais produtos são entregues ao se contratar um serviço de acompanhamento de obras? Existem produtos diferentes para cada horizonte de planejamento (longo, médio e curto prazo)? Como é feita a integração entre esses horizontes?

(12) Como são apresentados esses produtos para o cliente? Há utilização de dispositivos visuais para disseminar esses resultados tanto para a equipe administrativa quanto para a equipe de produção do canteiro?

(13) Quais as principais dificuldades observadas durante um acompanhamento de obras? Existe um mapeamento dessas dificuldades e sucessiva busca por melhorias?

### **PARTE III - AVALIAÇÃO DA ETAPA DE MODELAGEM 4D**

(1) A partir da modelagem 4D apresentada, é possível obter o planejamento nas esferas longo, médio e curto prazo?

(2) Como seria a obtenção do planejamento de longo prazo? Pela modelagem é possível validar ou verificar a necessidade de acrescentar algo na linha de balanço?

(3) Como seria a obtenção do planejamento de médio prazo? De que forma a listagem de restrições é melhorada por meio do modelo?

(4) Como seria a obtenção do planejamento de curto prazo? A ferramenta de retirada de quantitativo do *software* possibilitaria um curto prazo mais detalhado, por exemplo, com a programação de consumo de material?

(5) Todas as informações necessárias para um planejamento estão contempladas no modelo?

(6) O que poderia ser modificado no modelo para facilitar ou melhorar o planejamento?

(7) Você consideraria a modelagem em BIM 4D uma inovação eficiente e com benefícios?

#### **PARTE IV – APLICAÇÃO DA MODELAGEM 4D EM UMA REUNIÃO DE ACOMPANHAMENTO**

- (1) Implementar o BIM aumenta a colaboração entre a fase de projeto e construção?
- (2) Se houver, quais os principais benefícios verificados pelo modelo obtido a partir da integração?
- (3) A simulação colabora com o entendimento do planejamento de longo prazo? Os outros envolvidos na obra, como estagiários, mestre, encarregados, etc tiveram uma maior compreensão do planejamento?
- (4) A simulação observada na modelagem está coerente com a realidade da obra? Existe alguma modificação necessária para que se torne o mais próximo da realidade possível?
- (5) O sequenciamento dos pacotes de trabalho está correto? Foi verificada a necessidade de dividir algum pacote de trabalho, após sua visualização?
- (6) A utilização da modelagem 4D diminui defeitos na fase de construção e diminui quantidade de retrabalhos?
- (7) Adotar o BIM no planejamento e acompanhamento de obras aumenta a eficácia na comunicação entre os participantes da construção (diretor, engenheiros, estagiários, mestres, encarregados, terceirizados, etc)?
- (8) A simulação colabora com o desenvolvimento do planejamento de médio prazo e na listagem das restrições?
- (9) Haveria alguma melhoria no modelo? Gostaria de acrescentar algo que ainda não comentou?