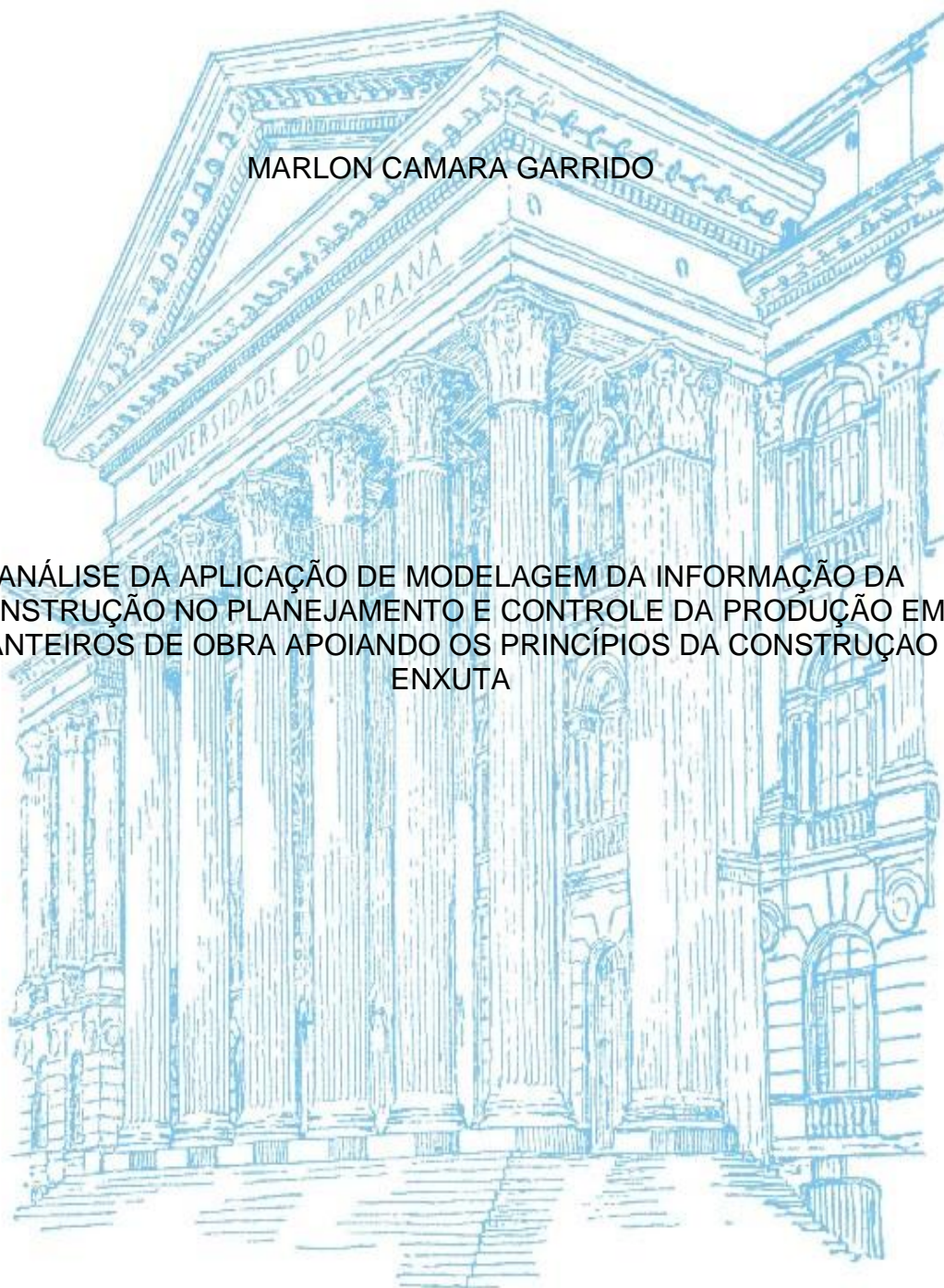


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARLON CAMARA GARRIDO

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA  
CONSTRUÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM  
CANTEIROS DE OBRA APOIANDO OS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO  
ENXUTA



CURITIBA  
2015

MARLON CAMARA GARRIDO

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA  
CONSTRUÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM  
CANTEIROS DE OBRA APOIANDO OS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO  
ENXUTA

Dissertação apresentada como requisito Parcial  
à obtenção do grau de mestre em Engenharia  
de Produção, no Programa de Pós-graduação  
em engenharia de produção, Departamento de  
Engenharia de Produção, Universidade Federal  
do Paraná

Orientador Prof. Dr. Ricardo Mendes Junior

CURITIBA  
2015

Garrido, Marlon Camara

Análise da aplicação de modelagem da informação da construção no planejamento e controle da produção em canteiros de obra apoiando os princípios da construção enxuta / Marlon Garrido Camara. – Curitiba, 2015.

189 f. : il.; grafs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Ricardo Mendes Junior

Bibliografia: p.169-175

1. Modelagem de informação da construção. 2. Indústria de construção civil – Controle de produção. 3. Controle de produção. I. Mendes Junior, Ricardo. II. Título.

CDD 692.5

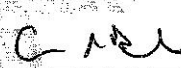


ATA DA 45ª DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO


Aos 23 de fevereiro de 2015, na sala de vídeo conferência do CESEC na Universidade Federal do Paraná, foi instalado pelo Prof. Dr. Ricardo Mendes Junior a Banca Examinadora para a Defesa de Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Área de Concentração Tecnologia e Inovação. A banca examinadora, atendendo determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, ficou constituída pelos professores **Dr. Cícero Aparecido Bezerra (PPGGI-UFPR)**, **Dr. Tarcísio Abreu Saurin (PPGEP-UFRGS)**, **Dr. Carlos Torres Formoso (PPGEC-UFRGS)**, **Dr. Sérgio Scheer (PPGEC-UFPR)** e **Dr. Ricardo Mendes Junior**, orientador, a quem coube à presidência dos trabalhos. Às 13:30 horas a banca iniciou seus trabalhos, convidando o candidato **MARLON CAMARA GARRIDO** a fazer a apresentação do projeto intitulado **"ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM CANTEIROS DE OBRA APOIANDO OS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA."** Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes da banca. Após a arguição, a banca reuniu-se para apreciação do desempenho do candidato. A banca considerou que o candidato fez uma apresentação com a necessária concisão e que a dissertação apresenta contribuição à área de estudos, estrutura e redação adequados, resultando em plena e satisfatória compreensão dos objetivos pretendidos. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela aprovação do candidato.

Curitiba, 23 de fevereiro de 2015.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eng. Ricardo Mendes Junior  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cícero Aparecido Bezerra

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Tarcísio Abreu Saurin

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos Torres Formoso

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sérgio Scheer

Dedico este trabalho aqueles que  
amam a pela busca do saber.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta a aplicação de planejamento e controle da produção em obras (PCP) de construção civil na cidade de Curitiba, Paraná. A prática do PCP foi aplicada gerando a necessidade de utilização de Modelagem da Informação da Construção (BIM) para interagir com princípios da construção enxuta. Dessa maneira, interações entre BIM e construção enxuta foram aplicadas aos estudos. O objetivo foi reduzir perdas nas fases de produção em canteiro de obras e planejamento no pré-obras. Cinco estudos empíricos foram realizados nesta pesquisa com interações entre BIM e construção enxuta selecionadas para aplicação de acordo as demandas da fase de PCP subsequente. O problema de pesquisa propõe a utilização de BIM para reduzir perdas no processo de produção. O objetivo do trabalho é propor diretrizes para utilização de BIM no PCP apoiando princípios da construção enxuta em termos de processo, pessoas e solução de problemas.

Palavras chave: BIM, Construção Enxuta, Planejamento e Controle da Produção, Sistema *Last Planner*.

## **ABSTRACT**

This work brings the application of planning and production control in construction sites in the city of Curitiba, Paraná. The use of PCP was applied to pull Building information Modeling (BIM) practices, to interact with lean construction. Thus, interactions between BIM and lean construction were applied to case studies. The objective was to reduce wastes in the production stages in construction site and planning in the pre-construction. Five case studies were conducted in this study with interactions between BIM and lean construction selected for application according the demands of subsequent PCP phase. The problem of research proposes the use of BIM to reduce wastes in construction process. The objective is to propose guidelines for use of BIM in PCP supporting principles of lean construction in terms of process, people and problem solving.

Keywords: BIM, Lean Construction, Planning and Production Control, Last Planner System.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – BIM como processo colaborativo.....	23
Figura 2 – Visualização da produção em situações futuras: (A) primeira etapa; (B) segunda etapa; (C) terceira etapa; e (D) quarta etapa.....	24
Figura 3 – (1) Sequenciamento de atividades; (2) Controle da produção....	25
Figura 4 – Visão convencional do processo de produção como processo de conversão.....	29
Figura 5 – Modelo de processo da construção enxuta.....	30
Figura 6 – O Sistema <i>Last Planner</i> .....	35
Figura 7 – KanBIM: ferramenta de planejamento e controle baseado em BIM.....	44
Figura 8 – Classificação de status de tarefa.....	45
Figura 9 – Delineamento da pesquisa.....	53
Figura 10 – Atuação do pesquisador nos estudos D e E.....	62
Figura 11 – Método de aplicação de cada ação do protocolo de coleta de dados.....	67
Figura 12 – Fotos do empreendimento A.....	69
Figura 13 – O modelo BIM do empreendimento A.....	70
Figura 14 – DFD do empreendimento A na visão do engenheiro de produção.....	72
Figura 15 – A perspectiva do empreendimento B.....	76
Figura 16 – O modelo BIM do empreendimento B.....	78
Figura 17 – DFD do empreendimento B na visão do engenheiro de produção.....	79
Figura 18 – Fotos do empreendimento C: (A) torre 1; (B) torre 2; (C) torre 3; (D) torre 4.....	84
Figura 19 – O modelo BIM do empreendimento C.....	85
Figura 20 – DFD do empreendimento c na visão do engenheiro de produção.....	86
Figura 21 – Reunião de planejamento pelo Sistema <i>Last</i>	

<i>Planner</i> .....	89
Figura 22 – (A) perspectiva do empreendimento D e; (B) perspectiva do empreendimento E.....	90
Figura 23 – (a) empreendimento D; e (b) empreendimento E.....	91
Figura 24 – (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro.....	95
Figura 25 – Produto 1: (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro.....	96
Figura 26 – Produto 2: (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro.....	97
Figura 27 – Produto 1: (a) produto em canteiro com sifão deslocado em relação ao eixo entre banheiros; (b) modelo BIM.....	99
Figura 28 – Produto 1: (a) produto em canteiro com entrada no sifão curva; (b) modelo BIM.....	99
Figura 29 – Produto 1: (a) tubulações sem interligação; (b) modelo BIM....	100
Figura 30 – Produto 2: (a) acentuada queda por desnível; (b) encontro antecipado das tubulações.....	100
Figura 31 – Mão de obra em contato com pranchas retiradas do modelo BIM.....	102
Figura 32 – Modelo BIM 4D do estudo de caso (a) A; e (b) B.....	103
Figura 33 – Modelo BIM 4D do estudo de caso (a) D; e (b) E.....	104
Figura 34 – Estudo de caso A: falta o pacote de trabalho do piso do térreo.....	105
Figura 35 – Estudo de caso A: considerando o pacote de trabalho do piso do térreo.....	106
Figura 36 – Comparação entre EAP antiga e nova dos estudos D e E.....	106
Figura 37 – (a) detalhe de fachada que carecia de tratamento específico; e (b) a unidade específica de produção considerada na EAP do empreendimento.....	107
Figura 38 – Um mesmo pacote de trabalho em locais diferentes.....	110
Figura 39 – (a) a produção das vigas baldrame; (b) produção das instalações; e (c) produção da laje piso do térreo.....	111

Figura 40 – (a) início da produção das janelas; (b) início da produção dos revestimentos de fachada junto das janelas; e (c) a produção das atividades em paralelo.....	111
Figura 41 – (a) o início da produção das janelas; (b) continuidade de produção das janelas; e (c) início da produção do revestimento com janelas já finalizadas.....	112
Figura 42 – Locais onde o acabamento em textura de fachada estava sendo produzidas sem atividades antecessoras concluídas (piso e forro).....	113
Figura 43 – (a) pavimento tipo 6 sem alvenaria impedindo produção de chapisco de fachada; (b) mesma situação no pavimento tipo 12.....	113
Figura 44 – Apartamentos com massa corrida produzida e revestimento de fachada sendo produzido.....	114
Figura 45 – Prevista e realizada das atividades da “primeira fase norte” desde a alvenaria.....	117
Figura 46 – Prevista e realizada das atividades da “segunda fase norte”.....	117
Figura 47 – Prevista e realizada da atividade de massa corrida agora por fachada e o revestimento de fachada em argamassa.....	119
Figura 48 – Modelo BIM 4D com massa corrida por faces.....	122
Figura 49 – Status de produção durante o tempo de ciclo de um pacote de trabalho.....	124
Figura 50 – Banco de dados de falta de terminalidade no <i>Microsoft Sharepoint</i> .....	125
Figura 51 – Gestão de terminalidade e qualidade através do modelo BIM	
Figura 52 – Planilha do plano semanal: detalhe nas primeiras tarefas..... chamadas “ <i>check list</i> ”, um linguajar adota na obra.....	126
Figura 53 – Pavimento Tipo 1 no dia 14/11/14.....	127
Figura 54 – Pavimento Tipo 1 no dia 21/11/14.....	127
Figura 55 – Pavimento Tipo 1 no dia 27/11/14.....	127
Figura 56 – Pavimento Tipo 1 no dia 01/12/14.....	128

Figura 57 – Pavimento Tipo 1 no dia 04/12/14.....	129
Figura 58 – (A) 8º pavimento; (B) 7º Pavimento; e (C) 6º Pavimento todos da torre 4 no início da semana 41 de 2014.....	130
Figura 59 – Resultado da semana 41 na torre 4.....	130
Figura 60 – (A) 8º pavimento; (B) 7º Pavimento; e (C) 6º Pavimento todos da torre 4 ao término da semana 41 de 2014.....	134
Figura 61 – (a) o piso do subsolo sendo produzido antes da laje; e (b) alvenaria iniciando pelo térreo.....	134
Figura 62 – O muro de arrimo teve sua produção planejada perto das lajes que o cobrem.....	135
Figura 63 – Produção de pacotes de trabalho de fachada em (a) norte e leste; e (b) sul e oeste.....	136
Figura 64 – Para os pacotes de trabalho de água fria, distribuições e prumadas seriam produzidas em conjunto.....	136

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre elementos fundamentais, os princípios da mentalidade enxuta e construção enxuta.....	34
Tabela 2 – Etapas do PCP.....	36
Tabela 3 – Relação entre PCP, construção enxuta e o Modelo Toyota.....	47
Tabela 4 – Classificação da pesquisa.....	49
Tabela 5 – Protocolo de coleta de dados.....	64
Tabela 6 – Questão: há falta de informação durante o trabalho, gerando dificuldades de execução?.....	97
Tabela 7 – Questão: a equipe compreendeu as informações do modelo BIM?.....	101
Tabela 8 – Questão: houve validação e redução da variabilidade na execução desta atividade?.....	102
Tabela 9 – Questão: o modelo BIM 4D evidenciou atividades anteriormente negligenciadas?.....	104
Tabela 10 – Questão: há atividades em conflito em um mesmo posto de trabalho?.....	107
Tabela 11 – Refino de EAP.....	108
Tabela 12 – Questão: alguma das atividades com cronograma refinado, operacionalmente, ocorreu de acordo com o planejado?.....	109
Tabela 13 – Questão: a equipe compreendeu a utilização do BIM para refino operacional?.....	115
Tabela 14 – Questão: A atividade foi seguida de acordo com o BIM 4D, em termos de preparação e produção?.....	116
Tabela 15 – Questão: O tempo de ciclo foi de acordo com o previsto?.....	118
Tabela 16 – Questão: Em situação de replanejamento, o BIM auxiliou na tomada de decisão?.....	120
Tabela 17 – Questão: Com a validação do novo planejamento, as informações foram repassadas à equipe de produção atingida?.....	121
Tabela 18 – Questão: O modelo BIM auxiliou na verificação de atividades em	

	processo?.....	131
Tabela 19 –	Questão: O modelo BIM transmitiu informações visuais de metas a serem cumpridas, deixando claro o planejamento?.....	132
Tabela 20 –	Questão: O BIM tornou o fluxo estabilizado e melhorado?.....	136
Tabela 21 –	Questão: O tempo de ciclo de uma atividade determinada, estudada neste conjunto de ações, reduziu-se?.....	137
Tabela 22 –	Questão: a mão de obra se compromete e segue o especificado e visualizado no modelo 4D?.....	138
Tabela 23 –	Questão: Atividades no planejamento <i>Lookahead</i> puxam trabalho da equipe?.....	139
Tabela 24 –	Questão: O controle de produção com base no modelo BIM traz confiabilidade nos relatórios de planejamento e controle?.....	140
Tabela 25 –	Diretrizes de aplicação.....	155

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de interação entre BIM e construção enxuta.....	43
Quadro 2 – Interações escolhidas pelo pesquisador.....	57
Quadro 3 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.....	73
Quadro 4 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.....	80
Quadro 5 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.....	87
Quadro 6 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhida para o estudo de caso.....	92

## ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2.	OBJETIVO PRINCIPAL .....	19
1.2.1.	Objetivos secundários .....	19
1.3.	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO .....	19
1.4.	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	21
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1.	BIM (BUILDING INFORMATION MODELING).....	22
2.2.	CONSTRUÇÃO ENXUTA ( <i>LEAN CONSTRUCTION</i> ) .....	27
2.3.	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	31
2.3.1.	Etapas do PCP .....	32
2.3.2.	Sistema Last Planner.....	36
2.4.	INTERAÇÕES SINÉRGICAS ENTRE BIM E CONTRUÇÃO ENXUTA .....	38
2.5.	SÍNTESE DO CAPÍTULO .....	44
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1.	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	47
3.2.	VALIDADE EXTERNA .....	49
3.3.	VALIDADE DO CONSTRUCTO .....	50
3.4.	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	50
3.5.	ETAPA EXPLORATÓRIA .....	53
3.5.1.	Revisão Bibliográfica .....	53
3.5.2.	Pré-seleção de interações BIM e Construção Enxuta .....	54
3.5.3.	Estudo exploratório – Empreendimento A .....	58
3.6.	ETAPA DESENVOLVIMENTO .....	59

3.6.1.	Estudo empírico - Empreendimento B .....	59
3.6.2.	Estudo empírico – Empreendimento C .....	59
3.6.3.	Estudo empírico – Empreendimento D e E.....	59
3.7.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	60
3.8.	PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	61
4.	ESTUDOS .....	66
4.1.	ETAPA EXPLORATÓRIA .....	66
4.1.1.	Estudo exploratório: empreendimento A.....	66
4.2.	ETAPA DE DESENVOLVIMENTO .....	74
4.2.1.	Estudo empírico: empreendimento B.....	74
4.2.2.	Estudo empírico: empreendimento C .....	84
4.2.3.	Estudo empírico: empreendimento D e E.....	91
5.	RESULTADOS .....	96
5.1.	PROCEDIMENTO E RESPOSTAS AO PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS.....	96
5.2.	Interações entre BIM e construção enxuta .....	145
6.	CONCLUSÕES.....	154
6.1.	CONCLUSÕES RELATIVAS À PROCESSO .....	154
6.2.	CONCLUSÕES RELATIVAS À TECNOLOGIA .....	156
6.3.	CONCLUSÕES RELATIVAS A PESSOAS .....	157
6.4.	RESPOSTA AO PROBLEMA DE PESQUISA.....	158
6.5.	OBJETIVO PRINCIPAL E OBJETIVOS SECUNDÁRIOS .....	159
6.6.	DIRETRIZES DE APLICAÇÃO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM PCP E MÉTODO DE INTERVENÇÃO.....	160
6.7.	DE ACORDO COM SACKS <i>et al.</i> (2010) .....	168
6.8.	SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS.....	168
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	169

APÊNDICE 1 – Relatório e descrição de incompatibilidades encontradas através da checagem “ <i>clash</i> ” automática para o empreendimento D.....	176
APÊNDICE 2 – Relatório e descrição de incompatibilidades encontradas através da checagem “ <i>clash</i> ” automática para o empreendimento 3.....	185

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Paul Teicholz (2001, p. 427) a indústria da construção perdeu produtividade durante os anos de 1964 até 1999. Industriais não artesanais tiveram crescimento elevado em sua produtividade, durante o mesmo período, conforme a figura 1.

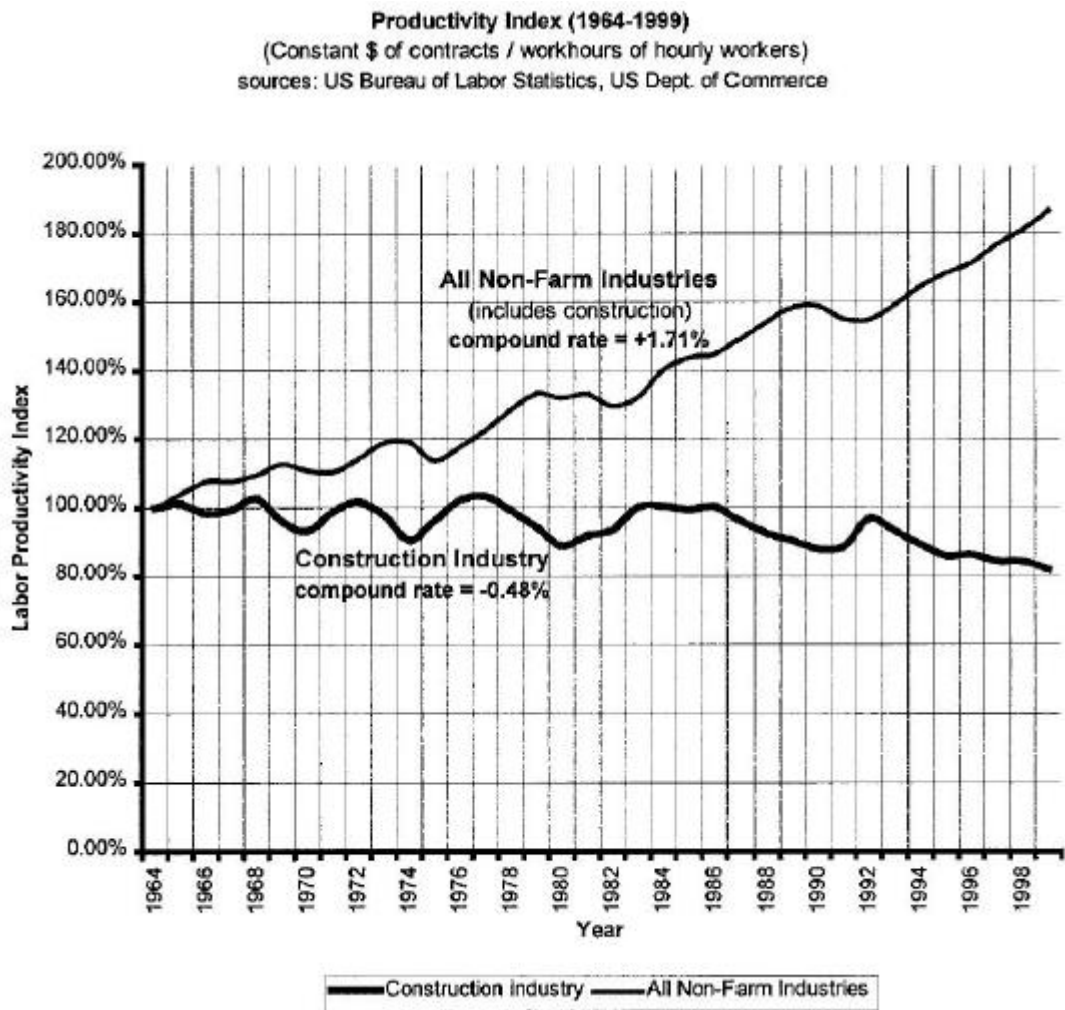


Figura 1 – índice de produtividade das indústrias não artesanais e construção durante os anos de 1964 até 1999. Fonte: Teicholz (2001).

Para Drucker (2006, *apud* Khanzode, Fischer & Ballard, 2006), entre outros fatores, esse incremento na produtividade de indústrias não artesanais se deve a adoção de tecnologias da informação. A indústria da construção também buscou e implantou tecnologias da informação. Um grande exemplo é

a adoção de tecnologias CAD (*Computer Aided Design*), proporcionando colaboração baseada em integração via web. Mesmo assim, segundo Teicholz (2001), a produtividade desta indústria continua a cair. Segundo Gallaher *et al.* (2004, *apud* Khanzode, Fischer & Ballard, 2006), a falta de integração que o processo da construção proporciona é o principal causador deste declínio. A preocupação com entregas e atividades de conversão, seja no projeto ou obra, sem preocupação com fluxos de processo e integração colaborativa continua a prejudicar a produtividade da indústria. Segundo Koskela (1992) é preciso enxergar a construção como um fluxo, e controla-los, não apenas atividades de conversão. Essa é a premissa da construção enxuta: planejar e controlar os fluxos de processo e não somente as entregas.

Segundo Liker (2004), a Toyota se manteve flexível através da adoção de tecnologia da informação adequada. A tecnologia deve buscar integração de processos centrais para o negócio organizacional. A tecnologia precisa vir para auxiliar as pessoas em seus processos, não para substituí-las (LIKER, 2004, p.57). Os processos precisam ser pensados e adotados de maneira integrada (DAVE *et al.*, 2008).

*Building Information Modeling* (BIM) pode proporcionar os atributos que Liker (2004) defende sobre a tecnologia. “BIM é fundamentalmente um método diferente de criação, uso e compartilhamento de dados do ciclo de vida da construção” diz Eastman *et al.* (2011, pg. 32). Segundo os mesmo autores, NBIMS categoriza *Building Information Modeling* como três maneiras:

- a) Como um produto: o modelo da informação da construção, a representação virtual da edificação;
- b) Como um viabilizador, baseado em tecnologia da informação, de processo colaborativo padronizado entre os envolvidos; e
- c) Como uma forma de gerenciar os requisitos da edificação em seu ciclo de vida.

É possível uma visualização da edificação prévia, rápida geração de múltiplas alternativas de projeto, mantimento da integridade de informações do projeto, etc. (SACKS *et al.*, 2009). A colaboração no projeto e na construção, promovida pelos profissionais envolvidos no empreendimento, somadas com as potencialidades BIM, promovem decisões tomadas antes do início da execução (SACKS *et al.*, 2009). Sacks *et al.* (2010) propõem aplicações de BIM

em interação com construção enxuta, visando favorecer a produtividade e valor agregado ao processo produtivo. Em uma matriz, os autores propõem 56 interações entre funcionalidades BIM e princípios *lean* (construção enxuta).

Várias dessas funcionalidades estão relacionadas com o planejamento e controle da produção. Alguns trabalhos têm realizado estudos empíricos destas funcionalidades. Num dos mais recentes, o pesquisador Rafael Sacks e sua equipe de pesquisadores criaram um sistema integrado chamado KanBIM (SACKS *et al.*, 2010). O objetivo desses pesquisadores é responder à seguinte questão: pode um sistema informacional baseado em BIM ajudar a construção a implementar estratégias de fluxos enxutos puxados? Se sim, como e com qual prática e aplicabilidade. Em um trabalho publicado em 2013, o sistema KanBIM é testado pela primeira vez no canteiro de obras, durante 3 meses. Porém, não há muitas conclusões para o problema de pesquisa pelo pouco tempo de implantação (SACKS *et al.*, 2013).

Dessa forma, a aplicação de BIM em interação com construção enxuta traz a promessa de melhoria na produtividade de desempenho dos processos de gestão da produção na construção.

## **1.1. PROBLEMA DE PESQUISA**

Diante do contexto apresentado acima, o problema proposto para essa pesquisa é: como utilizar a Modelagem da Informação da Construção para promover melhorias no planejamento e controle da produção na construção apoiando os princípios da construção enxuta?

No trabalho de Sacks *et al.* (2013) propõem interações entre BIM e a Construção Enxuta a partir de estudos anteriores e sugerem estas interações como base para novos estudos.

Como perspectiva de operacionalizar a utilização do BIM no planejamento e controle da produção, será utilizado o processo de proposto por FORMOSO *et al.* (, 2000) e BERNARDES (2001) para a gestão da produção na realidade brasileira. Assim, o pressuposto é que é possível operacionalizar de maneira sistemática, em estudos de caso brasileiros, as interações entre

BIM e construção enxuta, na busca de melhor desempenho no processo de produção.

## **1.2. OBJETIVO PRINCIPAL**

O objetivo principal pode ser assim expresso: Como integrar a Modelagem da Informação da Construção (modelo BIM) com o planejamento e controle da produção (PCP) em fase de produção em obra e pré-obra apoiando os princípios da construção enxuta.

### **1.2.1. Objetivos secundários**

Para que a pesquisa possa ser realizada, orientando-se ao cumprimento do objetivo principal, alguns objetivos secundários precisam ser atingidos:

1. Aplicar o processo de PCP em estudos de caso.
2. Compreender como integrar Modelagem da Informação da Construção com o planejamento e controle da produção aplicando no contexto dos estudos empíricos.
3. Compreender como a integração do BIM com o PCP pode apoiar os princípios da construção enxuta, coletando dados para mostrar sua eficácia na melhoria do processo de produção na construção.

## **1.3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO**

No Brasil, a atividade da indústria da construção representou 15,5% do PIB (Produto Interno Bruto) em 2012 ([www.cbic.org.br](http://www.cbic.org.br)). Segundo Simão (2012), o país teve décadas de baixo investimento em infraestrutura e habitação. Felizmente, a construção retomou seu importante papel na atividade

produtiva brasileira. O autor ainda cita que devido a esse cenário, a produtividade passou a ser buscada como um desafio para a indústria. Há necessidade de se produzir mais com menor emprego de recursos.

Como possibilidade de se produzir mais com cada vez menos emprego de recursos na construção civil, no ano de 1992 (conforme dito anteriormente), Lauri Koskela apresenta seu relatório técnico chamado *The Application of the New Philosophy of Production to Construction*. Neste trabalho teórico, são adaptadas filosofias e práticas do Sistema Toyota de Produção à indústria da construção. Posteriormente, foi chamada de *Lean Construction* (construção enxuta).

Justificando este ganho de produtividade com redução de desperdícios, Taichi Ohno, idealizador e inventor do Sistema Toyota de Produção, pregava produtividade através da busca incansável pela redução de desperdícios. Para o engenheiro japonês, desperdício é tudo aquilo que não agrega valor ao produto final. Assim, segundo Womack & Jones (1998), produzir mais com cada vez menor emprego de recursos é possível através da redução sucessiva de desperdícios (nas fábricas da Toyota, segundo os mesmos autores, chamada de *Muda*).

A tecnologia da informação também vem sendo utilizada para obter melhorias em produtividade e qualidade. Atualmente uma tecnologia que tem sido estudada no mundo todo para aplicação na indústria da construção é o BIM (*Building Information Modeling*) que no Brasil é chamada de Modelagem da Informação da Construção. BIM é o empreendimento concebido no ambiente virtual em 3D com elementos geométricos parametrizados e todas as disciplinas de engenharia e arquitetura compatibilizadas. Projetos com suas análises de desempenho do empreendimento (térmico, acústico, conforto ambiental podendo atender a certificações específicas), e compatibilização também com planejamentos de custo e prazo. Este mesmo modelo virtual, o Modelo da Informação da Construção, é levando ao canteiro de obras para ser utilizado na produção.

Entre os estudos mais recentes a publicação de Sacks, Koskela, Dave & Owen (2010), propõe interações entre BIM e construção enxuta. Com a promessa de BIM proporcionar resultados que a aplicação dos princípios da construção enxuta entrega, há grande potencial de melhoria em

empreendimentos de construção. Mesmo independentes BIM e construção enxuta podem ser utilizadas juntas para potencializar benefícios que ambos prometem oferecer.

Então BIM e construção enxuta buscam a redução de desperdícios e agregação de valor ao cliente. De um lado, a construção enxuta visualiza a produção como um fluxo e reduz desperdícios em todo o processo produtivo. Do outro, BIM integra processos, melhora a comunicação, pode aperfeiçoar processos de produção e planejamento e torna o controle mais facilitado.

#### **1.4. DELIMITAÇÕES DO TRABALHO**

O presente trabalho é realizado em caráter exploratório, utilizando método de estudo de caso não sendo possível sua generalização. O trabalho disserta a respeito de interações entre *Building Information Modeling* e Construção Enxuta (*Lean Construction*).

Dentre as 56 sinergias propostas por Sacks *et al.* (2010), algumas pré-selecionadas são tratadas, especificamente as que tratam de produção no canteiro de obra. Mais especificamente ainda, aquelas que estão no escopo de planejamento e controle da produção na construção, as quais serão justificadas mais adiante.

As obras estudadas são obras residenciais ou edificações, não englobando obras de infraestrutura urbana ou entre municípios. Para escolher as empresas, o indicador Índice de Boas Práticas de Planejamento e Controle da Produção (IBPPCP) foi utilizado, a fim de buscar empresas que já tenham práticas de PCP em seus processos (BERNARDES, 2001; SOARES, 2003; BULHÕES e FORMOSO, 2005; MOURA, 2008).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

## 2.1. BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

A Modelagem da Informação da Construção, como é chamada no Brasil (BIOTTO, 2012), segundo FLORIO e ARAUJO (2007), que a partir de 2002 passou a ser denominado BIM, é o processo de geração e gerenciamento de informações da construção de um modo interoperável e reutilizável. Diferentemente do CAD tradicional, focado na produção de desenhos, nos últimos anos os sistemas BIM, baseados em objetos 3D, passaram a representar a próxima geração da Tecnologia da Informação (Lee et. al., 2006, p.758, apud FLORIO; ARAUJO, 2007, p. 4). Os sistemas BIM adotam modelos paramétricos dos elementos construtivos de uma edificação e permitem o desenvolvimento de alterações dinâmicas no modelo gráfico, que refletem em todas as pranchas de desenho associadas, bem como nas tabelas de orçamento e especificações (COELHO; NOVAES, 2008).

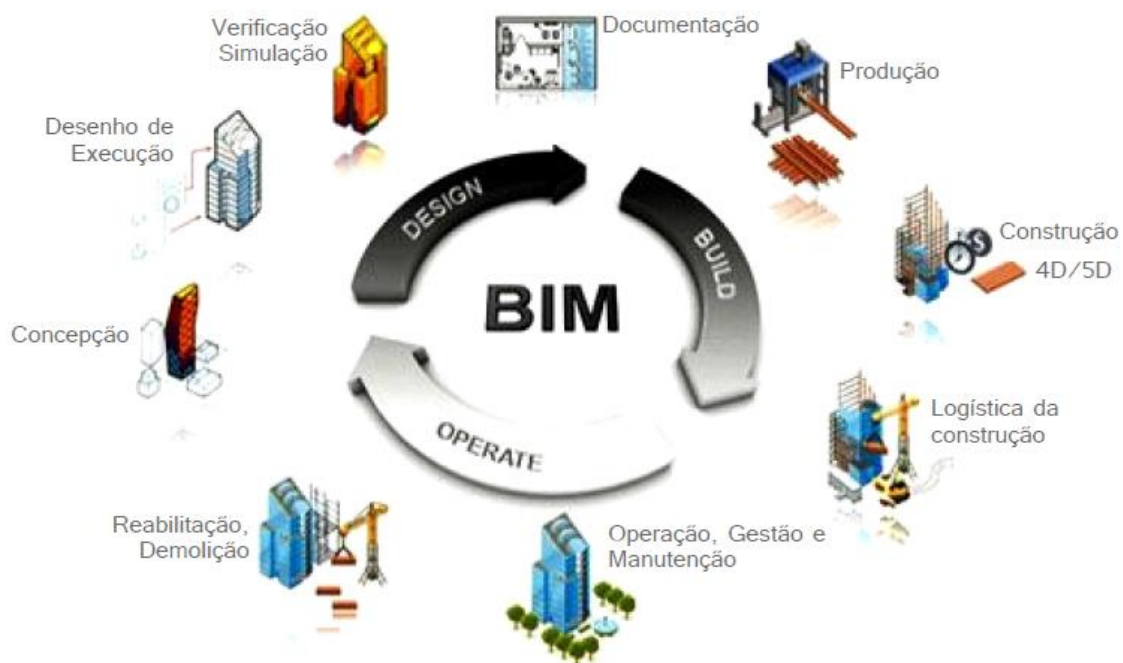
BIM é um conjunto de sistemas que capacita os usuários a integrar, reusar informação na construção e obter domínio no conhecimento por todo o ciclo de vida de uso do edifício (FLORIO; ARAUJO, 2007). Por este motivo neste trabalho chamou este conjunto de sistemas de Modelo Integrado. BIM é uma representação digital de características físicas e funcionais de uma edificação que serve como fonte de compartilhamento de conhecimento para informar sobre uma edificação, formando uma base de dados confiável para apoiar a tomada de decisão durante todo seu ciclo de vida (BuildingSMART, 2008, *apud* BIOTTO, 2012, pg. 44).

Segundo MENEZES *et al.* (2010) o uso do sistema BIM permite, aos responsáveis pela construção, a simulação de etapas da construção, antevendo as interferências entre projetos antes mesmo de sua execução. O autor cita na pesquisa que a grande vantagem dessa inovação é o aumento da precisão durante a construção, o menor desperdício de tempo e dinheiro, além de menos retrabalho.

Para NBIMS (*National Building Information Modeling Standart*, 2008), BIM pode ser compreendido como um produto: o modelo de informações do

edifício; um processo colaborativo entre envolvidos, viabilizado por tecnologia da informação; e um mecanismo de exigência de gerenciamento do ciclo de vida. A figura 1 demonstra o processo de colaboração do BIM.

Figura 1 - BIM como processo colaborativo



BIM - Building Information Modeling

Fonte:

<http://www.conceptsysbim.com/communities/2/004/012/908/142//images/4615777695.png>

Como uma forma de visualização de modelos virtuais tridimensionais integrados a cronogramas de obra, os CAD 4D foram definidos. Essa tecnologia também é utilizada para visualização, propostas de comunicação, revisão de construtibilidade, identificação e resolução de conflitos de tempo e espaço, gestão do canteiro de obras e alocação adequada de recursos (WEBB *et al.*, 2003; JONGELING *et al.*, 2007; HARTMANN *et al.*, 2008; FISCHER *et al.*, 2007, *apud* HARTMANN *et al.*, 2013). Ainda, segundo a tecnologia CAD 4D auxilia planejadores em identificar potenciais problemas antes do início da obra. Modelos 4D permitem uma compreensão mais intuitiva do que desenhos em 2D tradicionais.

Como uma alternativa de coordenar a construção através do modelo 4D (já não mais chamado de CAD 4D), Khanzode & Staub-French (2007) desenvolveram seis passos essenciais para se desenvolver um modelo 4D coordenado e detalhado. Neste caso, a coordenação buscava, entre outros objetivos, reduzir o retrabalho de subempreiteiros e seus complexos sistemas a serem instalados. Os seis passos foram os seguintes:

- a) Estabelecer da Estrutura Analítica de Projeto.
- b) Estabelecer da sequencia de instalação.
- c) Reorganizar os modelos 3D.
- d) Refinar o cronograma.
- e) Estabelecer ligação entre objetos 3D e atividades do cronograma.
- f) Refinar o modelo 4D.

Como resultados foi possível coordenar a produção passo a passo, operacionalmente. Segundo os mesmos autores, os benefícios do uso do modelo 4D, foram coordenadas execuções de diferentes disciplinas, o cronograma pode ser comunicado mais eficientemente e algumas questões da construção puderam ser discutidas antes mesmo do início da construção. A figura 2 demonstra um exemplo de utilização do modelo BIM 4D neste mesmo estudo citado.

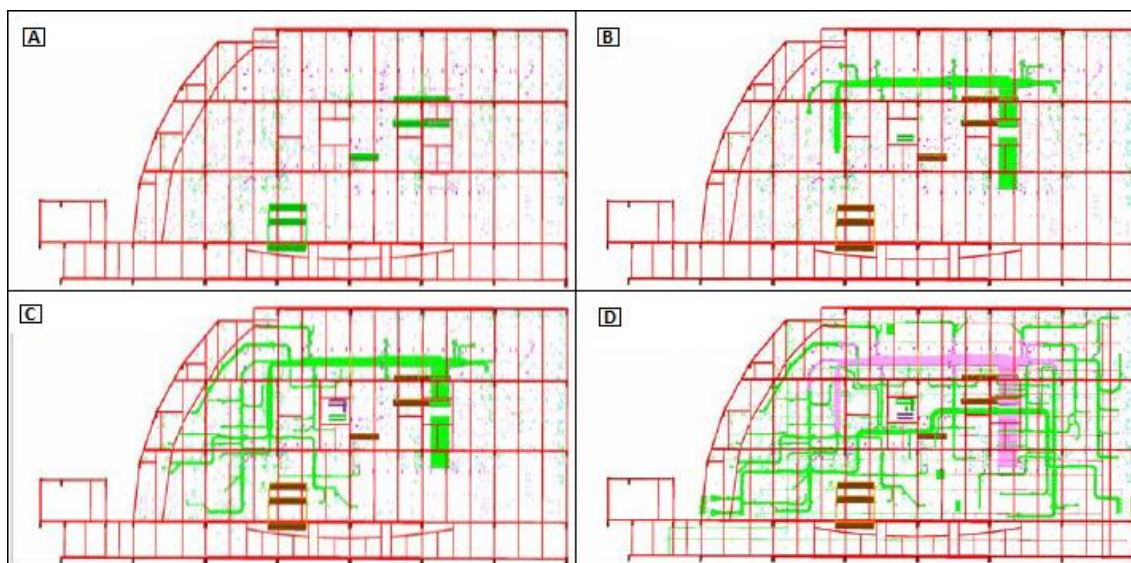
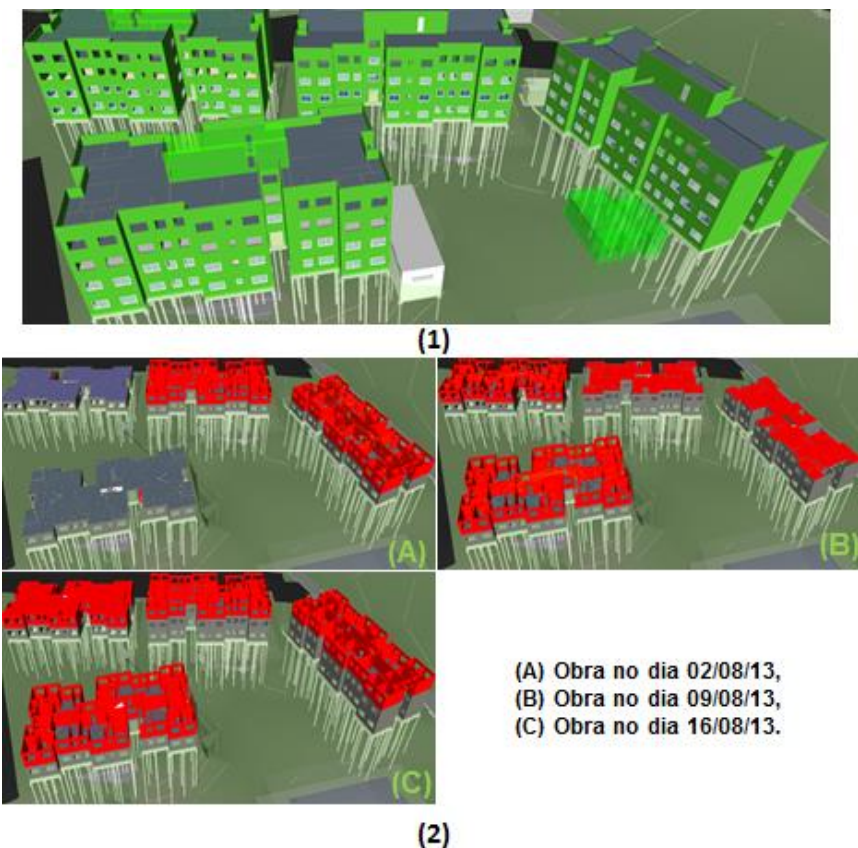


Figura 2 – Visualização da produção em situações futuras: (A) primeira etapa; (B) segunda etapa; (C) terceira etapa; e (D) quarta etapa. Fonte: Khanzode & Staub-French (2007)

Garrido *et al.* (2013) utilizaram o modelo BIM 4D para estudo de planejamento e plano de ataque. Posteriormente, os autores conferiram o andamento da obra de acordo com o planejamento. Na figura 3, é possível verificar que atividades estavam atrasadas.

Figura 3 - (1) sequenciamento de atividades; (2) Controle da produção.



Fonte: GARRIDO, GUARDA, MENDES JUNIOR e CAMPESTRINI (2013)

Os autores concluíram que a utilização do modelo BIM 4D pode apoiar o planejamento e controle, pois dados coletados em obra podem estar integrados ao modelo BIM auxiliando as discussões sobre planejamento com a visualização do BIM.

Smith e Tardif (2009) exploram a implantação de BIM como um processo de gestão organizacional, não somente como uma tecnologia. Para que seja possível, a empresa necessita mapear seus processos e rever a todos, integrando-os para que isso viabiliza a utilização de BIM. Essa implantação não deve ser pontual e/ou segregada. Deve ser uma implantação plena em toda a organização.

Segundo Succar (2009), a indústria da construção é composta por três campos que interagem entre si: campo da tecnologia, campo do processo e o campo da política. O campo da tecnologia é responsável por criação de tecnologias para melhoria do processo como um todo, seja ela softwares e/ou, maquinário. O campo do processo consiste nos profissionais da área, sejam arquitetos, construtores, engenheiros, etc. E finalmente o campo das políticas são aqueles que criam e sustentam regras de trabalho como normas ambientais, normas técnicas, conhecimento adquirido em estudos na universidade entre outros.

O campo de tecnologia interage com o campo de processo ao vender suas soluções para melhorias, e também coleta feedbacks e tendências mercadológicas. Interage também com o campo de política, ao coletar o conhecimento avançado (no caso de universidades) para criar soluções cada vez melhores. O campo de processo interage com o campo de política ao demandar de conhecimento, normas e padrões ambientais para construir sua obra.

Ainda para Succar (2009), toda a indústria da arquitetura, engenharia e construção evoluem no uso e aplicação do uso de BIM em cinco estágios.

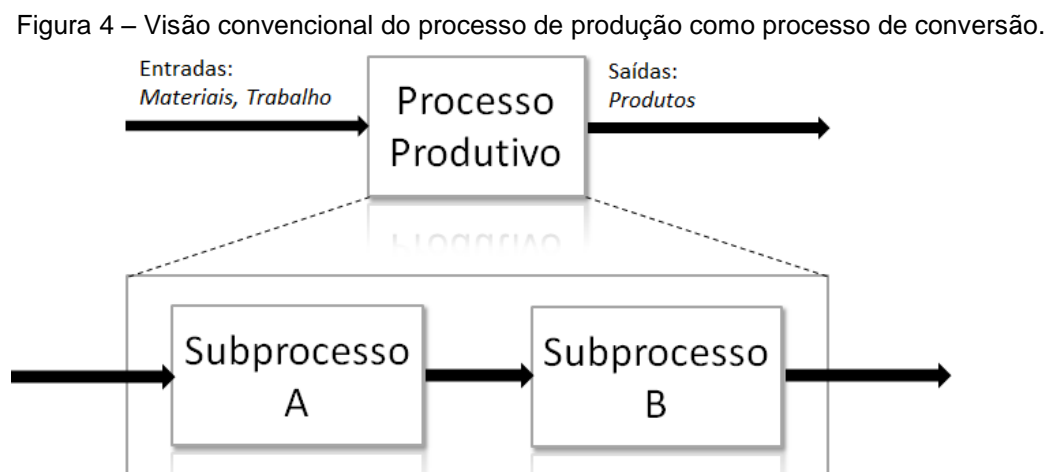
- a) Pré BIM: processo assíncrono e linear, projetistas utilizando tecnologia CAD sem interação uns com os outros.
- b) Estágio 1 – modelagem de objeto: consiste no mesmo processo assíncrono, linear e não integrado que pré BIM, porém, projetistas iniciam modelagens 3D para auxiliar no entendimento e comunicação.
- c) Estágio 2 – modelagem colaborativa: neste estágio projetistas compartilham modelo e iniciam uma processo de integração parcial, pois modelos 3D começam a ser compartilhados para visualização e entendimento, até mesmo úteis para que projetistas realizem seu trabalho diante do modelo de outro projetista. Porém, aqui ainda não há coordenação e o processo continua assíncrono.
- d) Estágio 3 – rede de integração: a equipe inicia modelagem colaborativa e coordenada especificamente, baseada em modelos em nuvem para comunicação. O processo se torna cíclico.

e) *Integrated Project Delivery*: soluções de projeto são tratadas como entrega. O desenvolvimento do empreendimento se torna colaborativo. Ferramentas, entregas e o processo é combinado no início do processo via contrato firmado. Os clientes do empreendimento, seja construtor, projetista, usuário ou dono, assumem riscos juntos ao longo do processo.

## 2.2. CONSTRUÇÃO ENXUTA (*LEAN CONSTRUCTION*)

O modelo conceitual dominante na visão conceitual de produção é o modelo de conversão (KOSKELA, 1992). Esse modelo tem seu processo definido em quatro visões:

- O processo produtivo é a conversão de entradas em saídas;
- O processo de conversão pode ser dividido em subprocessos;
- O custo do processo total pode ser minimizado através da minimização dos custos de cada subprocesso;
- O valor de saída de um processo é associado com custos das entradas deste processo. A Figura 4 ilustra o processo de produção conversionista.



Fonte: Adaptado de KOSKELA (1992).

Ao processo de produção por conversão, são feitas críticas com base em duas fontes, segundo Koskela (1992): *Just in Time* e *Total Quality Control*:

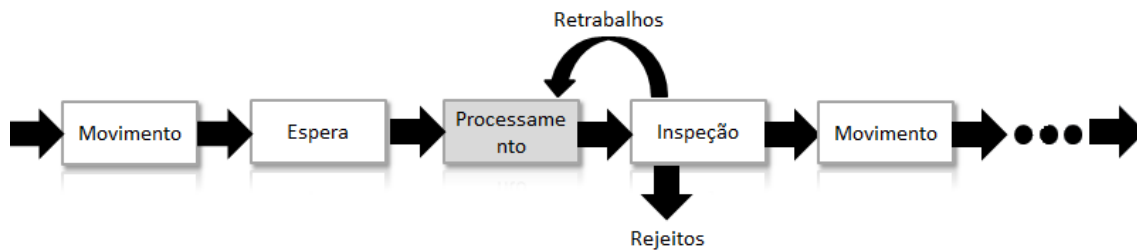
Crítica com base em *Just in Time* diz que o modelo não considera atividades de fluxo como transporte, movimentação, esperar e inspeção de materiais. Sob a ótica do cliente final, são atividades que não agregam valor ao produto. Também se diz que aumento na eficiência se dá pela utilização de tecnologia para melhorar os processos de conversão apenas, sem buscar melhorias ou eliminação das atividades de fluxo. Não se busca a eliminação de desperdícios (KOSKELA, 1992).

A crítica realizada com base em *Total Quality Control* se faz sob dois aspectos: (a) os resultados (saídas) dos processos de conversão quase sempre são variáveis, exigindo do produto sua fragmentação ou retrabalho; e (b) a especificação para cada atividade de conversão é imperfeita, sem a consideração de requisitos das conversões subsequentes e do cliente final.

Para Koskela (1992), a indústria da construção é caracterizada por seguir o modelo produtivo baseado em conversão, sem atenção nos fluxos de atividades que não agregam valor ao produto. Em termos totais, o desperdício é invisível e esforços buscando melhorias são dificultados pela negligência das questões de fluxo.

A Construção Enxuta, uma adaptação do Sistema Toyota de Produção para a construção, busca aplicação dos conceitos de *Just in Time* e *Total Quality Control* (KOSKELA, 1992). Inicialmente chamada de Nova Filosofia de Produção interpreta as atividades da indústria da construção como uma soma de fluxo (atividades que não agregam valor ao produto final) e conversão (atividades que agregam valor ao produto final). A Figura 4 ilustra o processo produtivo onde as atividades de fluxo ligam as atividades de conversão.

Figura 5 – modelo de processo da construção enxuta.



Fonte: Adaptado de KOSKELA (1992).

Ainda segundo o mesmo autor, atividades de fluxo precisam ser consideradas. Por isso devem ser buscadas a redução por compressão ou eliminação destas últimas atividades.

Koskela (1992) propõe em seu trabalho, 11 princípios que devem nortear todas as atividades na nova filosofia, e Formoso (2002) propõe aplicações para sete deles:

**Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor:** consiste em reduzir ou eliminar a não agregação de valor nas atividades de fluxo e conversão. Para se aplicar é preciso mapear a atividade como um todo, obtendo controle total e buscar a melhoria contínua;

**Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades dos clientes:** devem ser estabelecidas sistematicamente as necessidades de clientes internos e externos. Através de mapeamento por pesquisas de mercado, colaboração em equipe, difusão de conhecimento etc.

**Reduzir a variabilidade:** variabilidades podem ser em qualidade, em custo e prazo. A variabilidade deve ser combatida através do controle, pois esta tende a incorporar atividades que não agregam valor. A mão de obra deve ser treinada em procedimentos padrão.

**Reduzir o tempo de ciclo:** o tempo de ciclo é a soma de todos os tempos para produzir um determinado produto, desde transporte, espera, processamento e inspeção. Devem-se comprimir os fluxos e buscar melhorias na conversão. Um exemplo é o aprendizado da mão de obra que pode incumbir em redução no tempo de ciclo.

**Simplificar através da redução do número de passos ou partes:** diminuir os passos para realização de uma tarefa, pois a prática inversa tende a aumentar o número de atividades que não agregam valor. O uso de peças pré-fabricadas auxilia na simplificação.

Aumentar a flexibilidade de saída: a saída pode ser moldada pelo cliente. Um exemplo é o uso de vedação por gesso acartonado, onde o cliente pode modular o ambiente a seu gosto.

Aumentar a transparência do processo: este princípio ajuda o envolvimento da mão de obra no processo de controle, pois erros são facilmente detectados. Um exemplo é divulgação da situação de produção, com técnicas como Sistema *Last Planner* (Ballard, 2000).

Foco no controle do processo completo: obter controle holístico, pois devido a fronteiras organizacionais no empreendimento bem como excessiva hierarquização, o controle se torna segmentado. Através de parcerias com fornecedores, um padrão de requisitos pode ser exigido.

Construir melhoria contínua no processo: através de medidas no fluxo e na conversão, controle dos processos é possível se criticar as atividades e buscar melhoria.

Melhoria do fluxo de balanceamento com melhoria da conversão: melhores fluxos requerem menor capacidade de conversão e, portanto menos investimentos em equipamentos. Fluxos mais controlados tornam a implementação de novas tecnologias mais fáceis. E uma nova tecnologia de conversão pode fornecer variabilidade menor, e assim benefícios no fluxo.

Benchmarking: com o conhecimento do próprio processo, é possível saber pontos fracos e fortes. Assim, contato com líderes de mercado podem ser feitos para verificar suas práticas.

Ainda segundo Koskela (1992) a implementação da nova filosofia só é possível mediante os seguintes fatores chave: comprometimento da gestão, foco em melhorias mensuráveis e acionáveis, envolvimento do empregado (incentivado) e aprendizado da teoria. E que é preciso implementar as melhorias e estabelecer como filosofia o visão de processo de fluxo e conversão.

Segundo Picchi (2003), a mentalidade enxuta, inicialmente aplicado no ambiente da manufatura, apresenta grandes possibilidades de aplicação na construção, referente a fluxos de projetos, fluxo de suprimentos e fluxo de obra. Os princípios propostos por Koskela (1992) apresentam um maior nível de detalhamento que os cinco princípios da mentalidade enxuta. Picchi (2003) comenta que a compreensão sistemática baseada nos princípios

frequentemente causa dúvidas que levam a confundir em aplicação de ferramentas. Os motivos dessas dúvidas são:

- Forte relação de diversas ferramentas a mais de um princípio;
- Forte sinergia entre os princípios;
- Dificuldade de precisar os limites entre alguns elementos fundamentais e ferramentas;
- Possibilidade de estabelecimento dos elementos fundamentais em diversos sub-níveis ou agrupamentos.

Para esclarecer interessados, o autor propõe esses elementos fundamentais relacionando os princípios da mentalidade enxuta e da construção enxuta. A tabela 1 demonstra essa relação. Nível um representa princípios com origem sistêmica; nível dois são princípios operacionais.

Tabela 1 – relação entre elementos fundamentais, os princípios da mentalidade enxuta e construção enxuta.

Cinco princípios da mentalidade enxuta (WOMACK; JONES, 1998)	Elementos fundamentais	Onze princípios para desenho de processos (KOSKELA, 1992)	
		Nível 1	Nível 2
VALOR	Pacote produto/serviço de valor ampliado	aumentar o valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes	
	Refusão de <i>lead times</i>	reduzir o tempo de ciclo	
FLUXO DE VALOR	Alta agregação de valor na empresa estendida	reduzir a parcela de atividades que não agregam valor	<p>simplificar através da redução de passos, partes e ligações</p> <p>focar o controle no processo global</p> <p>manter o equilíbrio entre melhorias de fluxo e nas conversões</p>
FLUXO	Produção em fluxo		reduzir a variabilidade
	Trabalho padronizado		aumentar a transparência do processo
PUXAR	Produção e entrega <i>just-in-time</i>		
	Recursos flexíveis	aumentar a flexibilidade de saída	
PERFEIÇÃO	Aprendizado rápido e sistematizado	Introduzir melhoria contínua no processo	fazer <i>benchmarking</i>
	Foco comum		

Fonte: adaptado de PICCHI (2003).

### 2.3. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O modelo de planejamento e controle da produção (PCP) utilizado neste trabalho é segmentado em cinco etapas que serão descritas sucintamente abaixo adaptadas de Formoso *et al.* (2001) e Bernardes (2001).

### 2.3.1. Etapas do PCP

A tabela 2 apresenta as etapas do PCP, suas sub-etapas e quais atividades são realizadas em cada um destas últimas.

Tabela 2 – Etapas do PCP

Etapa	Subetapa	Atividades
Preparação do Processo de PCP	Decisões preliminares do processo	Definições iniciais do empreendimento ou processo padrão como quantidade de níveis hierárquicos, frequência de replanejamento, formato dos planos, indicadores, etc.
	Definição de padrões de planejamento	Padrões a serem empregados do PCP como EAP (Estrutura analítica de projeto) do empreendimento, zoneamento da obra, etc.
	Identificação de restrições	Restrições particulares do empreendimento como condições de terreno, acesso a este, fornecimentos gargalos.
	Definição de plano de ataque	Definição de como serão os fluxos de trabalhos das principais atividades bem como seus fluxos de materiais e disposição do canteiro de obras para suprir o plano de ataque.
Planejamento de longo prazo	Coletar informações	As informações necessárias para elaboração e/ou revisão do plano mestre do empreendimento
	Gerar fluxo de caixa	Com base no planejamento mestre, um fluxo de caixa detalhado é gerado. Muitas vezes, esta atividade pode alterar o plano mestre
	Preparar plano	Elaborar um cronograma com base no plano mestre do empreendimento,
	Difundir o plano mestre	Difundir o planejamento para todos os envolvidos no empreendimento por meio de documentos formais,

		reuniões etc.
	Programar recursos classe 1	Programar recursos com longo ciclo de aquisição e baixa repetitividade. Recursos de alto investimento como elevadores revestimentos etc.
	Difundir programação de recursos	Levar a setores de RH e compras, as necessidades de recursos de classe 1.
Planejamento de médio prazo	Coletar informações	Buscar informações do plano de longo prazo e curto prazo (retroalimentação)
	Preparar plano de médio prazo	Prepara plano dos próximos meses de obra com considerações das restrições a serem removidas.
	Difundir plano	Difundir este plano a setores de compras e RH (eventualmente) e a toda a equipe de produção
	Programar recursos classe 2	Recursos com um ciclo de aquisição geralmente inferior à 30 dias e por uma média frequência de repetição deste ciclo.
	Difundir a programação de recursos	Levar a setores de RH e compras, as necessidades de recursos de classe 2.
Planejamento de curto prazo	Coletar informações	Informações do médio prazo e da produção
	Preparar plano de curto prazo	Plano de produção no canteiro. Pode-se usar o curto prazo do Last Planner para esse fim
	Difundir plano	Difundir o plano bem como sua retroalimentação com base em indicadores (PPC) e as causas de não cumprimento das atividades.
	Programar recursos classe 3	Recursos estes com baixo ciclo de aquisição e pouca necessidade de negociação.
	Difundir a programação de recursos	Levar a setores de RH e compras, as necessidades de recursos de classe 3.

Fonte: Adaptado de Formoso *et al.* (2001)

O processo de PCP é dividido em três níveis hierárquicos: planejamento de longo prazo, médio prazo e curto prazo, conforme a tabela acima. Esta divisão apresenta-se tal como é aplicado o Sistema *Last Planner*, com longo prazo sendo o Plano Mestre, o médio prazo sendo o *Lookahead* e o curto prazo sendo o *weekly work plan*, tal como proposto por Ballard (2000). O indicador

proposto pelo autor que demonstra eficácia do planejamento semanal (curto prazo) é chamado Percentual da Programação Concluída (PPC).

Segundo Formoso *et al.* (2001), o PCP possui considerações primordiais que embasam sua utilização como padrão organizacional e mudança de cultura. A seguir, essas considerações são listadas.

Vínculo com a estratégia competitiva: decisões de planejamento não podem ser tomadas de maneira isolada. Elas precisam levar em conta o longo prazo e a estratégia organizacional.

Considerar a natureza dos processos de produção: conforme dito na filosofia enxuta (mentalidade enxuta e construção enxuta), produção é composta por atividades de fluxo e conversão. É necessário considerar atividades que agregam valor e as que não agregam valor ao produto. Estas últimas, buscar o processo de planejamento para reduzi-las.

Padronização e formalização: necessário para o processo de planejamento, com objetivo de reduzir variabilidades deste processo, seja ele em atividades de produção ou atividades de planejamento e controle.

Segmentação da obra em pacotes de trabalho: definir pacotes de trabalho como entregas em sequencia de todo o empreendimento. Assim se reduz um trabalho em trabalhos simplificados. Como alternativa, pode-se usar uma Estrutura Analítica de Projetos (EAP) para organizar a segmentação dos pacotes de trabalho.

Modelagem do fluxo de informações: a visualização das entidades da organização e relacionamento entre elas favorece a padronização de processos internos e entendimento do processo global. Como ferramenta a ser utilizada, uma sugestão é o diagrama de fluxo de dados (DFD) (KENDALL & KENDALL, *apud* FORMOSO *et al.*, 2001).

Função controle: corrigir causas estruturais dos problemas de maneira reativa, trazendo a situação e status produtivo em tempo real. Assim, a gestão organizacional pode manter o fluxo contínuo.

Minimização dos efeitos nocivos da incerteza e variabilidade: o planejamento traz situações futuras à discussão e busca coletar dados para reduzir a incerteza e variabilidade.

Entraves comportamentais: o PCP deve ser compartilhado por vários setores da empresa, sujeito a aprovação e comprometimento da direção de

empresa. Planos e controles de situações pontuais não caracterizam o processo exposto. É preciso focar num processo global envolvendo todos responsáveis.

Tecnologia da informação: a definição de uma tecnologia apropriada para cumprimento das necessidades organizacionais diante do PCP.

Os autores ainda citam que há um conjunto de diretrizes básicas para o sucesso da implantação de um sistema de PCP:

- É preciso adotar o conceito como processo gerencial, adotado pelos diferentes níveis hierárquicos da organização.

- Este PCP deve ser vinculado ao posicionamento estratégico da empresa.

- Gerenciar os fluxos existentes na produção, não somente atividades de conversão.

- Capacitar às empresas envolvidas para a realização do controle, com objetivo de manutenção corretiva em fluxos e processos.

- Empregar o planejamento para redução da incerteza e minimização dos seus efeitos nocivos.

- Gerenciar as interfaces do processo de planejamento e controle de forma global, com outros processos, tais como projeto, suprimentos, planejamento do canteiro, etc.

- Empregar indicadores de desempenho para visualização e transparência da produção.

- Utilizar tecnologias da informação disponível, preparando as empresas para as mudanças que deverão ocorrer num futuro próximo.

Para Bernardes (2001), o PCP é um processo que cuida dos fluxos de uma organização de construção civil, buscando atingir padrões da filosofia enxuta.

O planejamento e controle da produção podem ser integrados ao controle de qualidade, sob a perspectiva de se criar um fluxo diante do tempo de ciclo do pacote de trabalho (SUKSTER, 2005). Segundo Fireman *et al.* (2013) a obra pode apresentar produção de pacotes de trabalho que não se encontram no planejamento semanal. Estes são os pacotes de trabalho informais, que têm três categorias de acordo com a ocorrência:

- Falta de terminalidade: pacotes que já tinham sido considerados terminados, mas alguma parte não estava concluída.

- Novos e informais: pacotes de trabalho que não passaram pelo Lookahead, mas foram iniciados na obra.

- Retrabalho: pacotes de trabalho que apresentaram a necessidade de retrabalho.

O primeiro e o último são perdas, o segundo caso pode gerar perdas por *making-do*, pois não houve uma consideração sistemática e remoção de restrições. Sukster (2005) integra o controle de qualidade ao PCP com um indicador de desempenho em horizonte semanal: Percentual de pacotes concluídos com qualidade (PPCQ). Diante dos pacotes de trabalho concluídos no horizonte semanal, quais deles apresentam qualidade de acordo com o padrão especificado.

Leão (2014, p. 149) propõe um método para gestão da produção com consideração de qualidade, falta de terminalidade e a ocorrência de *making-do*. O método da autora ainda considera a formulação de um banco de dados para a organização.

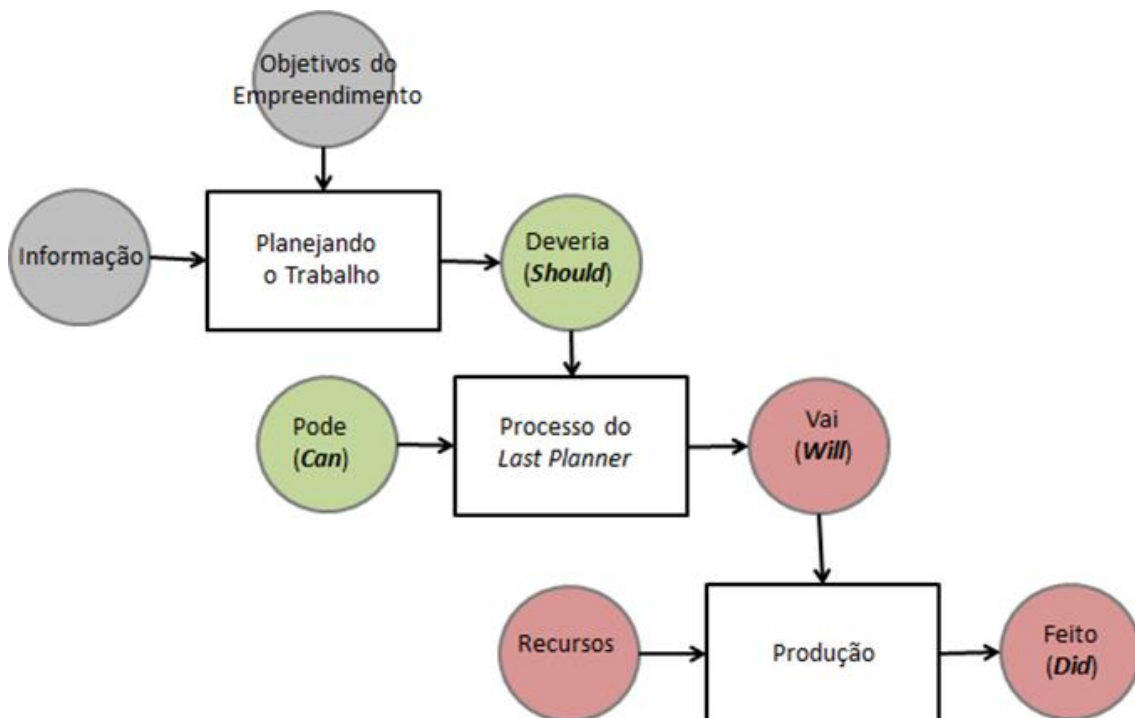
### **2.3.2. Sistema Last Planner**

Como ferramenta de inserção da construção enxuta no planejamento e controle, pode ser citado o Sistema *Last Planner*, idealizado por Ballard (2000). O sistema busca programar a produção com base no planejamento mestre da produção. Para o autor, este planejamento contém trabalho que deveria (*Should*) ser feito. Este planejamento é filtrado para um plano de médio prazo, chamado de *Lookahead*. Este nome é utilizado, pois é onde a produção deve olhar para frente e planejar as próximas três até doze semanas de produção. Com o planejamento *Lookahead*, as atividades puxam o trabalho da equipe em trazer recursos e informações para a produção. Em caráter de programação, o planejamento da produção é feito para se cumprir em médio prazo, retroalimentando a condição final daquele período (BALLARD, 2000). Estes recursos são chamados de restrições. Restrições é tudo aquilo que impede um

pacote de trabalho de iniciar produção – projetos, mão de obra, materiais, equipamentos, condições de trabalho, etc. (AKKARI, 2003; AKKARI, BULHÕES e FORMOSO, 2004; CODINHOTO, MINOZZO, HOMRICH e FORMOSO; 2003). Segundo estes trabalhos, restrições são requisitos para que o pacote de trabalho inicie. Segundo Ronen (1992), todo pacote de trabalho precisa preencher um kit de requisitos para iniciar sua produção, sem que improvisos (*making-do*) sejam realizados. O planejamento *Lookahead*, ainda segundo Ballard (2000) contém trabalho que pode ser feito (*Can*).

Depois de removidas restrições (kit completo), os pacotes de trabalho podem seguir para o *work week plan*. Este plano consiste na programação semanal, a qual o *Last Planner* decidirá o tamanho da produção. *Last Planner* é o termo definido por Ballard (2000) como sendo quem (indivíduo ou equipe) decide quais serviços específicos serão feitos amanhã. Os pacotes de trabalho que constam nesta programação semanal, para Ballard (2000) consistem no que será (*Will*) feito.

Figura 6 – O Sistema *Last Planner*



Fonte: adaptado de Ballard (2000).

Uma vez passada a semana, a produção dá o *feedback* da produção. Pacotes de trabalho concluídos são contabilizados e os que não foram

concluídos recebem um porquê de não conclusão e entram novamente um processo de planejamento. Segundo Ballard (2000), este trabalho é o que foi feito (*Did*). A figura 6 demonstra o Sistema *Last Planner* conceitual.

Segundo Ballard (2000), o Sistema Last Planner é uma filosofia de produção. Ela transforma o trabalho em pacotes de trabalho, como partes, e as planeja de tal maneira que a equipe de produção se compromete para atingir a meta. Através do controle, a produção é assistida.

## 2.4. INTERAÇÕES SINÉRGICAS ENTRE BIM E CONTRUÇÃO ENXUTA

Algumas pesquisas que seguiram nos últimos anos demonstraram uma potencialidade do uso de BIM com foco em aplicação nos princípios *lean* discutidos acima (SACKS *et al.*, 2010; SACKS *et al.*, 2009; SACKS *et al.*, 2013; BHATLA & LEITE, 2012; SCHEER *et al.*, 2014; MENDES JUNIOR *et al.*, 2014).

Há uma forte sinergia entre BIM e construção enxuta. Projetos em pranchas, muitas vezes, ocasionam perdas de informação. O desperdício vem da espera e/ou busca destas informações. BIM remove estes desperdícios (Eastman *et al.*, 2011).

Sacks, Koskela, Dave & Owen (2010) estabeleceram uma matriz com 14 princípios de qualidade total, propostos por Deming (1986) e validados por Liker (2004), cruzados com potencialidades que o uso de BIM pode proporcionar. As seguintes questões são feitas:

- O BIM como processo tem características que seriam intrinsecamente fundamentais na eliminação de desperdícios dominantes na construção?
- As organizações estimuladas a adotar BIM terão implantação neutra, favorável ou dificultosa, em termos Lean?
- Quais características do sistema BIM promovem fluxos e quais os interrompem?

BIM pode ser adotado sem praticas Lean e vice e versa, porém o efeito é potencializado com a implementação conjunta (Sacks *et al.*, 2010).

Eastman *et al.* (2011) relata um estudo de caso do *Sutter Medical Center*, nos Estados Unidos. Este estudo é modelo de aplicação de BIM, porém

um exemplo é citado ao falar que o uso de BIM 4D é utilizado para otimizar o planejamento e visualização de fluxos. Isso acarreta na redução de tempos de ciclo.

Os mesmos autores relatam outro caso: *Crussel Bridge*, onde o BIM 4D era utilizado em reuniões semanais de planejamento. Assim era possível planejar os processos pela visualização da produção futura. O modelo de informações era integrado a uma base de dados que permitia puxar a produção programada, entregando materiais e informações como estabelecido.

Sacks *et al.* (2010) propõe 56 interações na matriz de Lean e BIM, sendo 52 benéficas (Quadro 1). O objetivo do texto foi criar um arcabouço incentivando pesquisas a responder as questões relatadas acima. Cada uma das 56 relações foi obtida com estudos de caso. Muitos destes foram retirados do livro *BIM Handbook*, de Eastman *et al.* (2008) 1 ed. Os números representam constatações, que constam nos anexos do texto referência. Números entre colchetes representam intervenções negativas. Cada número da matriz representa uma interação. Para leitura plena das interações, buscar Sacks *et al.* (2010). As explicações das interações relevantes para o presente trabalho estão no quadro 2. Todas as interações encontram-se no Apêndice C deste trabalho.

Deve-se ter uma visão holística, a fim de afirmar realização integral dos benefícios propostos. Isso junto a uma compreensão conceitual das teorias enraizadas na teoria da produção na construção (SACKS *et al.*, 2010). Os autores ainda citam que a compreensão dos gerentes é necessária, para que estes percebam as interações positivas entre *lean* e BIM, na prática.

Já Sacks, Radosavljevic & Barak (2010) desenvolvem um protótipo de sistema de gestão *lean* com utilização de plataforma BIM: o chamado KanBIM. Requisitos de um software que puxa o fluxo de produção com profunda.

Colaboração visual entre a equipe foi proposto. Os requisitos abrangem as áreas de manutenção de estabilidade de fluxo de trabalho, permitindo a negociação e compromisso entre as equipes, planejamento enxuto da produção com controle de fluxo puxado sofisticado e uma comunicação eficaz, por visualização (Sacks *et al.*, 2010b).

Sacks *et al.* (2010) comenta que KanBIM é proposto como um conceito: um conjunto de requisitos para implantação e operação do sistema de gestão da produção enxuta, baseado em BIM.

Neste trabalho o KanBIM não será utilizado.

Quadro 1 – Matriz de interação entre BIM e construção enxuta

	Princípios Lean	Redução da Variabilidade	Qualidade de primeira tentativa	Foco na melhoria do fluxo	Redução do tempo de ciclo	Redução de durações de ciclos de produção	Redução de Estoque	Redução do tamanho do lote	Flexibilidade	Redução de tempos de mudança	Uso de equipes multidisciplinares	Seleção de um controle de produção apropriado	Sistemas paduados	Elevar a produção	Padronização	Melhoria Contínua	Uso da gestão visual	Visualizar métodos de produção	Visualizar processos de produção	Projeto do sistema de produção para fluxo e valor	Simplificar	Uso de processos paralelos	Uso e tecnologia confiável	Garantir a capacidade do sistema de produção	Garantir compreensão dos requisitos	Foco na seleção de conceito	Garantir fluxo de requisitos	Verificar e validar	Vai e verifique você mesmo	Decidir por consenso	Cultivar e estender a rede de parceiros		
			A	B		C	D	E		F	G		H	I	J	K		L	M		N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X		
Funcionalidades BIM			A	B		C	D	E		F	G		H	I	J	K		L	M		N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X		
Visualização da Forma	1		1,2																		3				4		11	5	6	4			
Rápida geração de alternativas de Projeto	2		1			22												7	7			8											
Re-uso de dados do modelo para análises preditivas																																	
Análise de desempenho preditiva	3		9	9		22				51															1	16		5					
Estimativa de custo automática	4			10		12																8					16		5				
Avaliação de conformidade do programa/cliente valor	5		1,2	1		12																			1	1	1	5					
Manutenção da informação e integridade do projeto do modelo																																	
Fonte única de informação	6		11	11																							11						
checagem "Clash" automática	7		12	12		22																						12					
Geração automatizada de desenhos e documentos	8		11			22	-52	53															54	54									
Colaboração em projeto e construção																																	
Multiplos usuários editando um único modelo	9					23								36								36											
Multiplos usuários visualizando um modelo simples ou multidisciplinar	10		2,13			24					33														43		56	46		49			
Rápida geração e avaliação de alternativas de planejamento de construção																																	
Geração automatizada de tarefas de construção	11		14			25	-29			31																							
Simulação do processo de construção	12			15		25	-29							37													44		47				
Visualização 4D de cronogramas de construção	13		2	40		25	-29								17			40	40			40										49	
Comunicação online de objeto																																	
Visualização do Status do Processo	14			-29		26	30	30					34						34									47	48				
Comunicação online de produto e processo	15		18			26	30	30					34		38			38	34								45				49		
Fabricação controlada por computador	16		19			27				32																							
Integração com base de dados de parceiros de empreendimento	17			20		28							35																			50	
Previsão de contexto por dados coletados em obra ou fora dela	18			21			30	30					34			39												47	48				

Fonte: Adaptado de Sacks *et al.*, 2010.

. Figura 7 - KanBIM: ferramenta de planejamento e controle baseado em BIM.



Fonte: Sacks *et al.* (2010b)








Sacks, *et al.* (2013) implementam o modelo KanBIM em uma obra, afim de testar um protótipo do sistema. A pesquisa se inicia com a seguinte questão: Pode um sistema de informação de fluxo de trabalho baseado em BIM ajudar as pessoas da construção a implementar estratégias *lean* de fluxo puxado? Se sim, como e por qual extensão?

KanBIM tem como requisitos funcionais, as seguintes categorias:

- Processo de visualização;
- Produto e método de visualização;
- Computação e exibição do pacote de trabalho e seu nível de maturidade, em requisitos;
- Apoio ao planejamento, negociação, compromisso e status de feedback;
- Controle puxado de fluxo;
- Manter o fluxo de trabalho e plano de estabilidade;
- Formalizar experimentação para melhoria contínua.

As atividades demonstradas diariamente no KanBIM, sugerem situação pela seguinte classificação (originalmente tirado de Sacks *et al.*, 2013):

Figura 8 – classificação de status de tarefa

Ação	Descrição	Símbolo
Início da Tarefa	Pronta para início. Apenas aparece para tarefas com nível de maturidade pronta para iniciar	
Tarefa aguardando replanejamento	Não está pronta para início, porém segundo o planejamento, deveria estar	
Em trabalho	Tarefa em processo, com o número de dias até o término do prazo	
Tarefa parada	Tarefa parada com um indicador parcial de quantidade completa	
Ok	Tarefa completa	
Início da Tarefa	Tarefa de contingência	
À iniciar	Tarefa a ser iniciada no futuro, de acordo com o planejamento semanal, e os dias restantes	

. Fonte: Sacks *et al.* (2013)

O protótipo foi testado em apenas uma obra por curto período de tempo. Os autores dizem que é necessário testar em outras obras.

Bhatla & Leite (2012) realizaram um estudo com objetivo de identificar aspectos de relacionamento BIM e Lean com foco na fase da construção. A perspectiva utilizada foi à visão do *General Contractor*, pois a pesquisa realizou um estudo de caso em obra nos Estados Unidos. Os autores buscaram validação das interações sinérgicas. Com visualizações do modelo de informações BIM em reuniões semanais de planejamento, os resultados desta pesquisa foram (Bhatla & Leite; 2012):

- Tempo de ciclo de atividades foi reduzido, devido a checagem e correção de incompatibilidades no BIM;
- Utilização do Last Planner com o índice PPC<sup>1</sup> e levantamento de causas de não cumprimento das atividades, buscam agir nas causas e consequentemente melhoria contínua;
- A empresa necessita de domínio de vários softwares. Em longo prazo, o trabalho com IFC viabilizaria a interoperabilidade entre softwares mais rápida;

<sup>1</sup> A métrica do Sistema *Last Planner* é o indicador chamado Porcentagem de Plano Completo. Expresso em porcentagem, é o número de tarefas concluídas divididas pelo número de tarefas planejadas (BALLARD, 2000).

- Os pesquisadores acreditam na criação de uma ferramenta que combine princípios *lean* com funcionalidades *lean*.

## **2.5. SÍNTESE DO CAPÍTULO**

As considerações primordiais para estabelecer o PCP foram relacionadas, segundo Formoso *et al.* (2001). A tabela a seguir considera premissas à execução do PCP juntamente com princípios da filosofia enxuta.

O vínculo com a estratégia competitiva propõe decisões que consideram a estratégia organizacional e não somente de maneira isolada. O Modelo Toyota vincula decisões até mesmo operacionais com a estratégia da empresa (Liker, 2004). É preciso ter foco no controle do processo completo, não em parcelas isoladas (Koskela, 1992). Ao considerar a natureza dos processos de produção, é preciso olhar o fluxo e conversão. Liker (2004) cita que é preciso criar um fluxo contínuo para que problemas venham a tona, a fim atingir alta agregação de valor e fluxo contínuo. Para Koskela (1992) é preciso reduzir atividades que não agregam valor, ou seja, de fluxo e proporcionar continuidade nas atividades que agregam valor. Ao se padronizar e formalizar o trabalho busca-se reduzir variabilidade na produção, onde diretamente Koskela trata como um princípio da construção enxuta. Liker discute que a padronização proporciona melhoria contínua e a capacitação dos funcionários. Ao segmentar a obra em pacotes de trabalho, a obra é reduzida a entregas menores sequenciadas, com controle facilitado. Koskela discute sobre benefícios de reduzir em menores entregas como possibilidade de redução do tempo de ciclo e simplificar através da redução do número de passos ou partes. Através da modelagem do fluxo de informações, transparência à organização é adicionada, onde a gestão das informações de torna visual e padronizada. Além do princípio de reduzir a variabilidade, aumentar a transparência do processo envolve toda a equipe de administração e produção no controle, devido ao conhecimento. Essas medidas podem gerar a utilização do controle visual para que nenhum problema fique oculto (LIKER, 2004). Por último, a seleção e utilização de uma tecnologia da informação adequada que

integre todos esses fluxos, para não haver variabilidade na condução do processo. Liker (2004) cita como princípio a utilização de tecnologia confiável, atendendo processos e funcionários, porém, auxiliando e não substituindo pessoas. Estas pessoas que tomarão decisões e trabalharão de forma técnica. A tecnologia deve manter estabilidade.

A última etapa do processo de PCP consiste em avaliar o processo a cada empreendimento concluído. Essa etapa tem objetivo de buscar lições aprendidas e melhorar continuamente. Liker (2004) expõe seu princípio nº14, como sendo a melhoria contínua através da aprendizagem organizacional. Koskela (1992) cita que é preciso construir a melhoria contínua no processo, onde todo o trabalho padronizado e/ou terminado deve sofrer críticas para buscar a melhoria. Este último autor ainda cita o *benchmarking* como forma de buscar melhoria contínua.

BIM é uma tecnologia confiável que proporciona preocupação e foco com processos de *core* na indústria da construção (SACKS *et al.*, 2010). Como produto, BIM relaciona todas as informações necessárias ao empreendimento durante todo seu ciclo de vida. Como processo, definições são tomadas de início para viabilizar sua utilização. O processo se torna integrado e colaborativo entre os profissionais (FLORIO e ARAÚJO, 2007). Ainda segundo Sacks *et al.* (2010), BIM proporciona a consideração e padronização dos fluxos de trabalho entre profissionais bem como fluxos e processos de produção no canteiro de obras.

Tabela 3 – relação entre PCP, construção enxuta e o Modelo Toyota

PCP (FORMOSO <i>et al.</i> , 2001)	Construção enxuta (KOSKELA, 1992)	Modelo Toyota (LIKER, 2004)	BIM e <i>lean</i> (SACKS <i>et al.</i> , 2010)
Vínculo com estratégia competitiva.	Foco no controle do processo completo	Basear decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo	Não se aplica
Considerar a natureza dos	Reduzir a parcela de atividades que		Visualização do BIM 4D,

processos de produção	não agregam valor		visualização de status produtivo e comunicação online do produto e processo.
Padronização e formalização	Reduzir a variabilidade Reduzir o tempo de ciclo	Tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e capacitação dos funcionários	O modelo é a única fonte de informação, colaboração no projeto e construção com diversos agente e fabricação de peças controlada por computador.
Segmentação da obra em pacotes de trabalho			Geração automatizada de tarefas.
Planejar e utilizar tecnologia da informação adequada à organização	Buscar tecnologia cada vez melhor para conversões porém, balancear com a melhoria de fluxo;	Usar tecnologia confiável e completamente testada que atenda aos funcionários e processos.	O BIM é uma tecnologia confiável e flexiva que integra processos fundamentais.
Ter o processo organizacional modelado para que seja passível observar a produção através de indicadores de desempenho.	Proporcionar transparência ao processo.	Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto.	Comunicação online de status de produto e processo.

Fonte: adaptado de Formoso *et al.* (2001), Koskela (1992) e Liker (2004)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo propõe-se a explicar o método de pesquisa utilizado para a realização do trabalho. O capítulo começa descrevendo a filosofia e estratégia de pesquisa utilizada em seu desenvolvimento. Ao longo das páginas, será demonstrado todo o processo de pesquisa bem como a descrição das etapas, métodos e técnicas utilizados para coleta e interpretação de dados.

#### 3.1. ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Para resumir a classificação desta pesquisa, segue a tabela 4 adaptado de Miguel *et al.*, (2010):

Tabela 4 – classificação da pesquisa

Natureza da pesquisa	Abordagem do problema	Objetivos da pesquisa	Método
Aplicada	Quantitativa	Exploratória	Levantamento
Básica	Qualitativa	Descritiva	Estudo de caso
		Explicativa	Modelagem
			Simulação
			Estudo de campo
			Experimento

Fonte: adaptado de Miguel *et al.* (2010)

Essa pesquisa tem origem qualitativa, pois busca a inserção do pesquisador no ambiente onde será realizado o trabalho, buscando conhecer os fenômenos que se seguem através de diferentes formas de observação e coleta de dados de diferentes fontes.

Miguel *et al.* (2010) comenta que na pesquisa qualitativa de engenharia de produção, o pesquisador visita a organização pesquisada fazendo observações e, sempre que possível, coletando informações. Na abordagem

qualitativa a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos é considerada relevante, contribuindo para o desenvolvimento da pesquisa. Essa realidade deve contribuir, no desenvolvimento da pesquisa, na construção de uma realidade objetiva, um dos marcos da ciência. Segundo Bryman (1989, *apud* Miguel *et al.*, 2010), a abordagem qualitativa tende a ser não muito estruturada. Mas isso não significa ser menos rigorosa, tornando o controle da pesquisa ainda mais crítico. Para Gil (2002), é preciso ter múltiplas fontes de evidências. O pesquisador deve entender a complexidade pesquisada através de interpretações individuais. Também estando ciente de que diversos pontos de vista se complementam, mas também divergem.

Pesquisas exploratórias, na maioria dos casos assumem a forma de pesquisa bibliográfica ou estudo de caso (GIL, 2002).

Segundo Gil (2002), pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, objetivando torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Essas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Ainda segundo o mesmo autor, para que seja possível considerar os mais variados aspectos relativos ao fato estudado, o planejamento precisa ser bastante flexível.

Para Selltiz *et al.* (1967, *apud* GIL, 2002), pesquisas exploratórias envolvem, na maioria dos casos um “levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema estudado e análises de exemplos que estimulem a compreensão”.

Yin (2001) comenta ainda que para formular essas questões, é necessária muita preparação. Pesquisadores experientes buscam a literatura científica, como um meio para desenvolver questões mais perspicazes e reveladoras sobre o mesmo tópico.

Este trabalho terá a utilização do método de pesquisa-ação com estudos empíricos múltiplos. As aplicações práticas, baseadas no estudo teórico realizado, serão realizadas em canteiros de obra. Para compreender a realidade subjetiva, o pesquisador fará visitas a campo com entrevistas junto aos envolvidos. Observações diretas, participantes também serão realizadas. Análises documentais e registros em arquivos irão auxiliar na coleta de evidências.

Os estudos empíricos serão realizados em três canteiros de obra e também em fases antecedentes ao início da obra, de construtoras da cidade de Curitiba, a fim de identificar quais são as oportunidades de aplicação da filosofia *lean*, através do uso de Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling*) especificamente em planejamento e controle da produção.

O estudo de caso é uma modalidade que consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos. Objetiva-se amplo e detalhado conhecimento sobre este objeto, tarefa praticamente impossível através de outros métodos de pesquisa (GIL, 2002).

De acordo com seu objetivo, esta pesquisa, como estudo de caso, busca propor diretrizes para utilização de BIM em planejamento e controle da produção. Interessados podem tomar como hipóteses ou sugestões que, contextualizadas adequadamente, podem se tornar práticas. Segundo Yin (2010) estudo de caso é generalizável a proposições teóricas e não às populações ou aos universos (generalização analítica).

Este estudo está baseado nos acontecimentos contemporâneos dos objetos de estudo (canteiros de obra) em relação à pesquisa.

Aplicações práticas de interações entre BIM e construção enxuta trazem solução para problemas cotidianos de canteiro de obras. Principalmente para o planejamento e controle da produção. Na detecção de oportunidades de solução de problemas deste tipo, a implementação foi proposta para as organizações. Uma vez aceitas, o pesquisador buscou atuar diretamente na organização, buscando aplicação no canteiro, avaliando assim a viabilidade prática de a interação sinérgica.

### **3.2. VALIDADE EXTERNA**

O trabalho primeiramente explorou um primeiro estudo de caso para propor o método de intervenção e análise, utilizado mais adiante na pesquisa. Este método foi aplicado em mais dois estudos de caso (diretamente na obra) e em mais um estudo de caso (em fase de pré-obra). Posteriormente, foi possível

a proposição de diretrizes para aplicação do BIM no PCP. Estas diretrizes podem ser aplicáveis a qualquer canteiro de obras de empreendimentos e sistemas de produção similares.

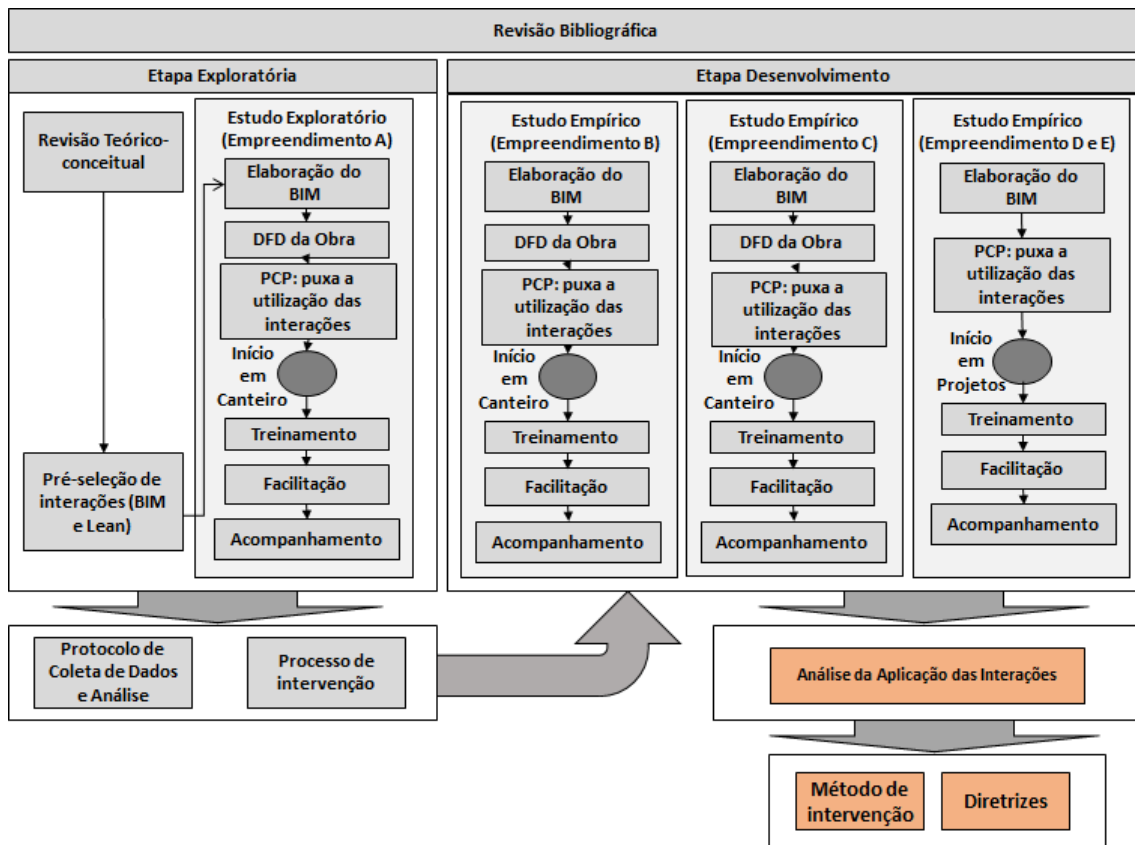
### **3.3. VALIDADE DO CONSTRUCTO**

O processo de PCP traz o contexto para que as interações entre BIM e construção enxuta possam ser aplicados, neste trabalho. As diretrizes propostas neste trabalho comprovam a aplicabilidade eficaz destas interações, viabilizando utilização de benefícios de BIM para canteiro de obras e para a etapa de pré-obra. Com coleta de dados de fontes como observação direta e participante, entrevistas semi-estruturas e análise documental, o modelo de aplicação é comprovado.

### **3.4. DELINEAMENTO DA PESQUISA**

Esta pesquisa está dividida em duas etapas: (a) etapa exploratória; e (b) etapa de desenvolvimento. A Figura 9 abaixo apresenta as fases e suas relações.

Figura 9 – Delineamento da pesquisa



Fonte: o autor (2015)

Cinco obras diferentes foram selecionadas pelo pesquisador para que o trabalho pudesse ser realizado. Estas obras foram selecionadas pelo critério de acessibilidade. As empresas construtoras destas obras ou são parceiras do grupo de pesquisa, ou da empresa de tecnologia parceira da pesquisa. Aqui, serão descritas obras como empreendimento A, empreendimento B, empreendimento C e o empreendimento D e E. Todas são obras realizadas por empresas da cidade de Curitiba, Paraná.

Em cada um dos estudos empíricos, o pesquisador atuou como facilitador de aplicação das funcionalidades BIM. Essas funcionalidades foram aplicadas nas diferentes fases de PCP que cada estudo se encontrava. Para que fosse possível, foi necessário a elaboração de um modelo de atuação, baseado no conhecimento prático das etapas de PCP e também das funcionalidades BIM. Por último, como aplicar tais funcionalidades nas diferentes etapas.

A primeira etapa, intitulada Exploratória, trata das seguintes atividades: foi realizado um estudo bibliográfico na área de construção enxuta e interações

entre este assunto e *Building Information Modeling*. Todos os textos lidos foram classificados em utilizáveis ou não utilizáveis para a pesquisa e como critério de classificação, para sejam utilizáveis necessitaram tratar de aplicações práticas de produção em canteiro de obras. Sendo aplicáveis ao planejamento e controle da produção, as práticas devem atender aos requisitos necessários para aplicação de acordo com os pontos de interação entre BIM e construção enxuta escolhidos pelo autor (de acordo com Sacks *et al.* (2010)).

Ainda na primeira etapa, o pesquisador realizou uma pré-seleção de interações possíveis de serem aplicadas, de acordo com a fase em que o empreendimento estudado estiver em realização. Assim, com base na bibliografia estudada e na pré-seleção de interações sinérgicas a ser aplicado, o Protocolo de Coleta de Dados e Análise foi aplicado.

O empreendimento A teve como objetivo explorar as funcionalidades BIM em etapas do PCP. Como o pesquisador assumiu papel de facilitador, foi necessário compreender como os fluxos de dados da organização de integravam. Assim foi possível propor onde as funcionalidades BIM poderiam ser aplicadas. Para isso, um Diagrama de Fluxo de Dados (DFD) foi elaborado através de entrevistas semi-estruturadas com engenheiro de produção, almoxarife, técnico em edificações, mestre de obras e empreiteiros, junto de análises documentais, observação direta e participante, foi possível elaborar o DFD deste estudo de caso. Um modelo BIM 4D foi elaborado a partir de projetos em CAD 2D e do planejamento de longo prazo.

A pré-seleção de interações foi realizada após interpretação do DFD da obra deste estudo de caso, bem como interpretação da etapa de PCP na qual se encontravam. O grande produto da fase exploratória foi o chamado processo de intervenção a ser aplicado nos estudos por parte do pesquisador e a análise através do protocolo de coleta de dados.

A segunda etapa, desenvolvimento, o método de intervenção e análise foi aplicado aos demais estudos. Os pontos de interações entre BIM e construção enxuta selecionados iniciaram aplicação no caso real. O processo de intervenção elaborado teve objetivo de guiar as aplicações das funcionalidades BIM nas diferentes etapas do PCP. A validação deste processo seria a partir dos estudos. O pesquisador teve como objetivo aplicar através

deste processo proposto e coletar os dados, com base no protocolo de coleta de dados.

Através das análises realizadas pelo autor, as conclusões estão relatadas comprovando a aplicação de *Building Information Modeling* apoiando princípios da construção enxuta, em planejamento e controle da produção. Ao final, baseado na experiência e conhecimentos adquiridos pelo pesquisador, algumas diretrizes de aplicação das interações estão relatadas pelo pesquisador.

Nos empreendimentos D e E, a elaboração do DFD foi julgada desnecessária, pois o pesquisador somente interagiu com engenheiros de produção e na fase de pré-obra.

### **3.5. ETAPA EXPLORATÓRIA**

#### **3.5.1. Revisão Bibliográfica**

Esta etapa objetiva fazer um levantamento bibliográfico de práticas de construção enxuta, aplicadas a PCP. O pesquisador teve acesso a artigos publicados em seminários brasileiros desde 1993 até 2013. Dentre os congressos estão: ENTAC, SBQP, TIC, SIBRAGEC, SIMPEP e ENEGEP. Além disso, o congresso anual e internacional do *International Group of Lean Construction* forneceu trabalhos acadêmicos com práticas aplicadas a PCP. Um banco de dados em planilha com práticas de construção enxuta foi formulado para utilização na pesquisa.

Periódicos internacionais, acessados na base <http://www.periodicos.capes.gov.br> foram acessados para identificação de aplicações práticas de interações entre BIM e construção enxuta, a fim de enriquecer o banco de dados de práticas dessa pesquisa.

### 3.5.2. Pré-seleção de interações BIM e Construção Enxuta

Através do artigo de Sacks *et al.* (2010) e o Quadro 1, interações entre BIM e construção enxuta que foram passíveis de aplicação ao PCP, de acordo com as condições das presentes obras, selecionadas são apresentadas no quadro 2 abaixo.

A ferramenta *lean* principalmente utilizada neste trabalho foi o sistema *Last Planner*, que também é indicado sua utilização no PCP (FORMOSO, 2001; BERNARDES, 2001). A ferramenta foi escolhida para buscar redução de perdas e controle de fluxo de produção (BALLARD, 2000). Com base nessa decisão, é necessário atuar no planejamento de longo prazo (planejamento mestre), planejamento de médio prazo (*Lookahead*) e planejamento de curto prazo.

Quadro 2 – Interações escolhidas pelo pesquisador.

Nº	Funcionalidade BIM		Princípio Lean			Ações	Explicação
1	Checagem "Clash" automática	7	Verificar e Validar	U	12	Nº1	Ao detectar uma interferência ( <i>clash</i> ) física intra ou interdisciplinar, descrever e buscar solução ainda em projeto, ou seja, antes do início da produção. Depois de resolvida esta interferência, validar com a equipe de administração de obra (engenharia e qualidade) e mão de obra (empreiteiro).
2	Checagem "Clash" automática	7	Redução da variabilidade	A, B	12		Uma vez que a interferência ( <i>clash</i> ) foi resolvida e validada com a equipe, em formato tridimensional, priva a mão de obra de interpretar e tentar visualizar detalhes em pranchas de projetos bidimensionais. Isso reduz o risco de variabilidade na produção, uma vez que o padrão foi estabelecido.
3	Geração automatizada de tarefas	11	Redução da variabilidade: qualidade na primeira tentativa	A	14	Nº2	O modelo BIM e sua visualização traz cognitivamente a percepção dos pacotes de trabalho e volumetria dos ambientes. Assim é possível constar todos estes pacotes no cronograma e também, instalações temporárias no canteiro (a indústria do canteiro), reduzindo as chances de descobrir instalações provisórias e/ou outras atividades que necessitam ser consideradas no cronograma, em estágios mais avançados da obra. Essas descobertas podem gerar atrasos em obra, retrabalhos em cronograma e baixa qualidade.
4	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25	Nº3	Através da visualização do cronograma 4D, é possível verificar interferências entre atividades ao longo do tempo, considerando seu tempo de ciclo. O cronograma de obra é refinado a considerar nenhuma interferência entre atividades e promover o tempo de ciclo completo, reduzindo a chance de interferências entre atividades e conseqüentemente, por aprendizado, reduzindo o tempo de ciclo
5	Geração automatizada de tarefas	11	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25		Com um cronograma em BIM 4D, é possível visualizar qual atividade está por iniciar. Assim, as tarefas ao longo do seu tempo de ciclo (fluxo e conversão) podem ser rapidamente levantadas, listadas e distribuídas à equipe de administração e produção, sem a necessidade de perder muito tempo com coleta de dados.
6	Avaliação de conformidade do programa/cliente valor	5	Redução e durações de ciclos de produção	C	12		Em fase de produção, a consideração de requisitos construtivos por parte do cliente construtor podem ser visualizados no modelo e considerados para buscar redução do tempo de ciclo das atividades em canteiro de obras. Essas decisões são baseadas na experiência do cliente.
7	Visualização do cronograma em 4D	13	Verificar e validar	U	47	Nº4	A possibilidade de visualizar diferentes processos de produção e planos de ataque, validando aquele que promove consenso com as necessidades organizacionais. Isso é possível de ser feito em qualquer estágio da obra.

8	Visualização do Status do Processo	14	Verificar e Validar	U	47		Visualizar status de atividades que estão para se iniciar, em termos de restrições que ainda faltam ser removidas e ritmos que essa atividade por ventura venha assumir.
9	Visualização do Status do Processo	14	Redução do tempo de ciclo através da redução de estoque em processo	D	30	Nº5	Visualizando o status do processo é possível verificar <i>work-in-progress</i> e buscar reduzi-lo, planejando como pacotes de trabalho e/ou cumprindo com tarefas do ciclo de atividades que possam estar sendo deixadas para traz.
10	Contextualização o através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Redução do tempo de ciclo através da redução de estoque em processo	D	30		O modelo BIM necessita de constante coleta de dados, seja voluntária de cada envolvido no processo e/ou sob responsabilidade de um supervisor. Desta forma é possível fazer previsões de trabalho futuros. O refino constante do replanejamento possibilita a redução do tempo de ciclo, com foco no cumprimento das metas.
11	Contextualização o através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Redução do lote de trabalho	E	30		Os dados coletados geram status da produção e possibilidade de previsões de andamento. Também possibilita reduzir lotes de entrega (dos pacotes de trabalho) em tarefas menores.
12	Comunicação online do produto e processo	15	Redução do tempo do ciclo através da redução de estoque em processo	D	30		Através do modelo BIM atualizado, o status real da produção pode ser comunicado a toda a equipe. Isso torna visível e preciso o <i>work-in-progress</i> , com chance de tomadas de decisão para manutenção produtiva.
13	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução da variabilidade com foco na melhoria do fluxo	B	40		Nº6
14	Visualização do Cronograma em 4D	13	Gestão visual com visualização de métodos	L, M	40		A visualização do processo produtivo e seus fluxos proporciona o estudo de métodos executivos e busca por melhorias.

			executivos				
15	Visualização do Status do Processo	14	Sistema de produção puxada	H	34	Nº7	Como estamos visualizando a produção, a equipe busca finalizar frentes de trabalho abertas, sem que outras frentes destas sejam iniciadas, gerando excessivo <i>work-in-progress</i> . A visualização do status real puxa ação da equipe de produção.
16	Comunicação Online de produto e processo	15	Sistema de produção puxada	H	34		Puxar produção da equipe em frentes de trabalho que estão abertas, sem que outras frentes sejam abertas, é uma atividade realizada através de comunicação. Com o modelo BIM é possível coletar dados e alimentar, transmitindo essas informações de maneira online.
17	Contextualização o através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Sistema de produção puxada	H	34		Os dados de produção coletados e inseridos no modelo BIM representam diferentes status. Esses dados provêm de dentro ou fora da obra como dados que representam status de fluxo (preparação das atividades) ou até mesmo processamento (produção), puxando ações da equipe para cada diferente situação de status.
18	Contextualização o através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Melhoria contínua	K	39	Nº8	Dados coletados podem ser transformados em indicadores de desempenho e relatórios, promovendo discussões e melhoria contínua.

Fonte: adaptado de Sacks *et al.* (2010)

O quadro 2 cita a interação e cita a ação realizada para se obter a essa interação. Como algumas ações são citadas para mais de uma interação, as escolhidas e relatadas na tabela acima, foram numeradas em oito (8) ações. A terceira coluna representa um número designado para representar à funcionalidade BIM, a quinta coluna representa uma letra designada para o princípio *lean*, a sexta coluna representa o número da interação (SACKS *et al.*, 2010, p. 8) que está explicada logo na próxima coluna.

As ações numeradas serão aplicadas nos estudos empíricos, com a equipe de administração, gestão e produção da obra. Portanto, terão protocolo de coleta de dados e análise específicos e relatado abaixo.

### **3.5.3. Estudo exploratório – Empreendimento A**

Inicialmente, dados daquele empreendimento foram coletados para um diagnóstico inicial da produção. Dados como equipes de produção ali presentes, encarregados de produção, atividades em andamento, sistema de gestão, etc. Após este trabalho, projetos em pranchas foram coletados, juntamente com o planejamento da obra, para que o modelo BIM 4D pudesse ser elaborado.

O DFD do PCP em obra foi elaborado, pois foi necessário compreender como era o fluxo de dados, com objetivo de aplicar as interações entre BIM e construção enxuta,

O envolvimento com o PCP da obra, por parte do pesquisador, foi necessário a partir do início do estudo de caso.

A experiência deste empreendimento capacitou o pesquisador a intervir nos próximos empreendimentos, como facilitador no PCP. Nesta função, utilizando interações entre BIM e construção enxuta. BIM em favor da produção com interações de construção enxuta. Também capacitou na coleta de dados para posterior análise, com o protocolo de coleta de dados. Então foi proposto o processo de intervenção: a aplicação das interações entre BIM e construção enxuta nas etapas do planejamento e controle da produção.

### **3.6. ETAPA DESENVOLVIMENTO**

Nesta etapa, o processo de intervenção seguiu pelos três próximos empreendimentos, com aplicação do protocolo de coleta de dados e análises.

#### **3.6.1. Estudo empírico - Empreendimento B**

Através da flexibilidade adquirida pelo processo de intervenção, o pesquisador pode novamente realizar um trabalho inicial de diagnóstico da produção, elaboração do modelo BIM 4D e do DFD de obra, este último com objetivo de entender os fluxos de dados para poder aplicar as interações entre BIM e construção enxuta. Novamente, sua atuação foi diretamente no PCP, com apoio do BIM na viabilização da construção enxuta.

Neste se preocupou com a coleta de dados para análise. Desta forma, o pesquisador pôde voltar ao estudo de caso para coletar mais dados que incrementassem sua análise.

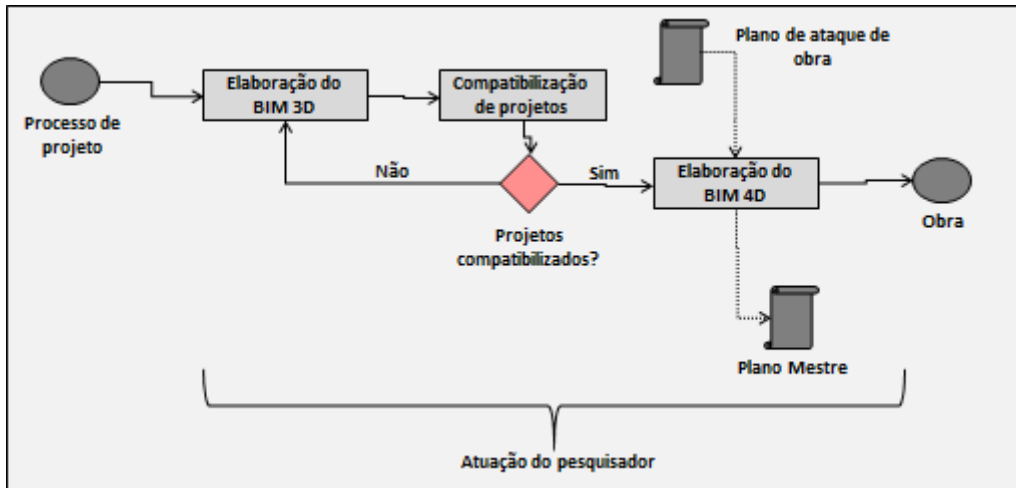
#### **3.6.2. Estudo empírico – Empreendimento C**

O mesmo processo tal como no empreendimento B foi utilizado. Porém, neste estudo de caso, menor liberdade foi dada ao pesquisador devido ao estágio produtivo que a obra se apresentava.

#### **3.6.3. Estudo empírico – Empreendimento D e E**

Este estudo se caracterizou por dois empreendimentos na fase de pré-obra. A figura 10 demonstra onde foi à atuação do pesquisador.

Figura 10 – atuação do pesquisador nos estudos D e E



Fonte: o autor (2015)

Os empreendimentos tiveram atuação do pesquisador no mesmo período e com o mesmo processo de intervenção. Uma vez prontos os projetos, o modelo BIM 3D era elaborado para detecção de incompatibilidades e correção. Após correção total, o modelo BIM 4D era elaborado com objetivo de produzir o planejamento mestre da produção daquele empreendimento.

Nestes estudos e pesquisador não atuou diretamente, apenas coletou dados por observação direta e entrevistas semiestruturas com os envolvidos.

### 3.7. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo da pesquisa, o pesquisador continuou acessando periódicos nacionais e internacionais a fim de buscar publicações mais recentes sobre aplicações práticas de construção enxuta em PCP e interações entre BIM e construção enxuta.

### 3.8. PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

O protocolo de coleta de dados contém instrumentos e procedimentos que orientam o pesquisador na coleta de dados em campo e análise destes (YIN, 2001). Segundo o mesmo autor, o ideal é que o protocolo possua quatro seções: visão geral da pesquisa, procedimentos de coleta, questões de pesquisa e um guia para o relatório final do estudo de caso. Ainda, Yin (2001) cita que o protocolo de coleta de dados precisa seguir três princípios. Segue um breve relato sobre cada princípio:

- a) 1° Princípio – uso de múltiplas fontes de evidência: o estudo de caso não pode basear suas respostas e conclusões diante de uma única fonte de evidência. Deve ter quanto mais fontes melhor. Além disso, as evidências coletadas devem ser trianguladas, para comprovação do fenômeno.
- b) 2° Princípio – criação de um banco de dados para registro de cada evidência, de uma maneira organizada, favorecendo posterior análise dessas evidências.
- c) 3° Princípio – garantir o encadeamento de cada evidência. Isso aumenta a confiabilidade da evidência e conduz o trabalho e ao leitor, uma construção do conhecimento.

Para este protocolo, as questões a serem respondidas através da obtenção de evidências são realizadas sobre as ações, listadas na Tabela 2.

Ao longo deste trabalho, o problema de pesquisa juntamente com os capítulos subsequentes proporcionou a visão geral de pesquisa. A seguir, estarão demonstradas as questões de pesquisa, na qual as coletas de dados trarão insumos para análise posterior.

A Tabela 5 está dividida em quatro colunas: Ação, representando o número da ação que faz referência às interações entre BIM e construção enxuta; Atividades, o que o pesquisador fez para viabilizar a aplicação da Ação no dia a dia de obra; Questões são aquelas que precisam ser respondidas; Coleta de dados, como as evidências serão coletadas, com objetivo de responder as questões; e Autores, que comentam ou já aplicaram a interação. Após isso, explica-se como uma Ação será aplicada no dia a dia de obra.

Tabela 5 – protocolo de coleta de dados

Ação Nº	Atividades	Questões	Coleta de Dados	Fonte de dados
01	01: Realizar Clash Detection no software Autodesk Navisworks e escolher algumas interferências para se trabalhar.	BIM promoveu melhoria em seu processo de projeto? O que prejudicou?	Entrevistas com a equipe especializada, observações diretas ao trabalho e análise documental em relatórios de qualidade.	Observar relatórios de incompatibilidades dos projetos, entrevistar o projetista responsável e o construtor.
	02: Verificar como está sendo realizada em campo, a atividade alvo desta interferência.	Há falta de informação durante o trabalho, gerando dificuldades de execução?	Entrevistas com a equipe especializada, contagem da quantidade de solicitações se visualização do modelo BIM.	Observar diretamente o produto <i>in loco</i> , comparando com o projeto. Entrevistas a mão de obra responsável quanto a experiência com o modelo BIM 3D.
	03: Treinar a equipe com as informações do modelo BIM, deixando este disponível para consultas.	A equipe compreendeu as informações do modelo BIM?	Entrevistas com a equipe especializada, observações diretas ao trabalho e análise documental em relatórios de qualidade.	
	04: Avaliar as próximas atividades após o treinamento e contato com o modelo.			
02	05: Gerar do modelo 4D, em BIM.	Há atividades em conflito, em um mesmo posto de trabalho?	Observação direta	O próprio pesquisador elaborou os modelos BIM 4D
	06: Verificar atividades que não constavam no planejamento anteriormente elaborado.	O modelo 4D evidenciou atividades anteriormente negligenciadas? Qual a importância dessa evidência?	Entrevistas com engenheiro da obra e observação direta	Entrevistas com engenheiro de produção, observar diretamente a produção em obra e analisar diários de obra e/ou planilhas do <i>Last Planner</i> para verificar registros do andamento de atividades.
	07: Refinar o cronograma estratégico ou operacional, em pelo menos duas atividades.	Alguma das atividades com cronograma refinado, operacionalmente, ocorreu de acordo com o planejado?	Verificar isso com observação direta antes e durante a realização da atividade, e entrevista com o construtor e mão de obra, em relação à informação	Observação direta e participante em reuniões de <i>Last Planner</i>
	08: Avaliar a execução de atividades			

	planejadas através do refino.		disponibilizada.	
03	09: Estudar a atividade no modelo 4D no período do planejamento <i>Lookahead</i> validando com a mão de obra	A equipe compreendeu a utilização do BIM para refino operacional?	Observação direta, observação participante (através da operação do BIM por parte do pesquisador) e entrevistas.	Entrevistas com engenheiro de produção, engenheiro de planejamento. Observação direta e participante em reuniões de planejamento <i>Lookahead</i> nos estudos.
	10: Preparar o início da atividade de acordo com o BIM 4D.	A atividade foi seguida de acordo com o BIM 4D, em termos de preparação e produção?	Utilizar Observação direta e entrevistas com os participantes, no intuito de verificar se a informação era disseminada de acordo com o BIM.	Analisar planilhas de <i>Last Planner</i> , entrevistas com encarregados de produção e participação em reuniões de <i>Last Planner</i> .
	11: Durante a execução, verificar o andamento e seu tempo de ciclo. 12: Validar os benefícios da utilização do BIM para geração de informações e redução do tempo de ciclo	O tempo de ciclo foi de acordo com o previsto?	Observar o prazo previsto e realizado por análise documental e observação direta	Observar planilhas de <i>Last Planner</i> como documentos.
04	13: Realizar propostas de replanejamento visual no BIM com posterior tomada de decisão.	Em situação de replanejamento, o BIM auxiliou na tomada de decisão?	Entrevistas, observações diretas e participantes.	Entrevistas com engenheiros de produção e planejadores; observação direta em reuniões de longo prazo e <i>Lookahead</i> ;
	14: Compatibilizar com o planejamento <i>Lookahead</i> .	Com a validação do novo planejamento, as informações foram repassadas à equipe de produção atingida?	Observação direta e análise documental.	observação participante na elaboração e divulgação do modelo BIM 4D.
05	15: Introdução do BIM no PCP e na reunião semanal de Last Planner.	O modelo BIM auxiliou na verificação de atividades em processo?	Observação direta, participante e entrevista com a equipe desta reunião.	Participação das reuniões de <i>Last Planner</i> dos estudos como facilitador; observação participante e direta nas reuniões.
	16: Controle semanal das atividades de produção.			
	17: Comparação, no BIM, do previsto e realizado. 18: Documentação	O modelo BIM transmitiu informações visuais de metas a	Observação direta, entrevista aos profissionais da reunião e análise	Análise das planilhas de planejamento; observação direta

	de metas para os responsáveis (podendo ser planilha de médio prazo).	serem cumpridas, deixando claro o planejamento?	documental.	e participante em reuniões de Last Planner; entrevistas com engenheiros de produção e encarregados
06	19: Em situação de planejamento, discutir a respeito do fluxo daquela e das atividades em torno desta.	O BIM tornou o fluxo estabilizado e melhorado?	Observação direta, participante e entrevistas com a equipe administrativa.	Entrevista com engenheiro de produção, mestre de obras e encarregados; participação das reuniões de planejamento observando.
	20: Transmitir a equipe de apoio do canteiro essas informações de caminhos a se percorrer, possíveis estoques, etc.	O tempo de ciclo de uma atividade determinada, estudada neste conjunto de ações, reduziu-se?	Observação direta e entrevistas.	Entrevista com engenheiro de produção e empreiteiro responsável pela atividade daquele fluxo específico; Observação direta no fluxo de produção específico.
	21: Verificar se as decisões tomadas com base no modelo BIM foram cumpridas no canteiro de obras.			
07	22: Inserir do BIM no PCP da obra.	A mão de obra se compromete e segue o especificado e visualizado no modelo 4D?	Observações diretas, participantes e entrevistas com engenheiro da obra, mestre de obras e empreiteiros responsáveis.	Observação direta em reuniões de Last Planner, no local de produção, observação participante como facilitador das reuniões de planejamento e conversas (observação participante) com envolvidos na produção.
	23: Realização de planejamento e controle no modelo 4D.			
	24: Verificar se a produção em canteiro de obras está de acordo com o planejado.			
	25: Verificar se atividades de planejamento <i>Lookahead</i> puxam trabalho da equipe de obra.	Atividades no planejamento <i>Lookahead</i> puxam trabalho da equipe?	Observação direta, análise documental (documentos de solicitação) e entrevistas com engenheiro da obra, almoxarife, mestre de obras e empreiteiros responsáveis.	
08	26: Gerar relatórios de planejamento e controle com base no modelo BIM.	O controle de produção com base no modelo BIM traz confiabilidade nos relatórios de	Observação direta, participante e entrevistas com engenheiro de obra, mestre de obra e empreiteiros.	Observar diretamente através de participação em reuniões com a equipe de
	27: Quantificar			

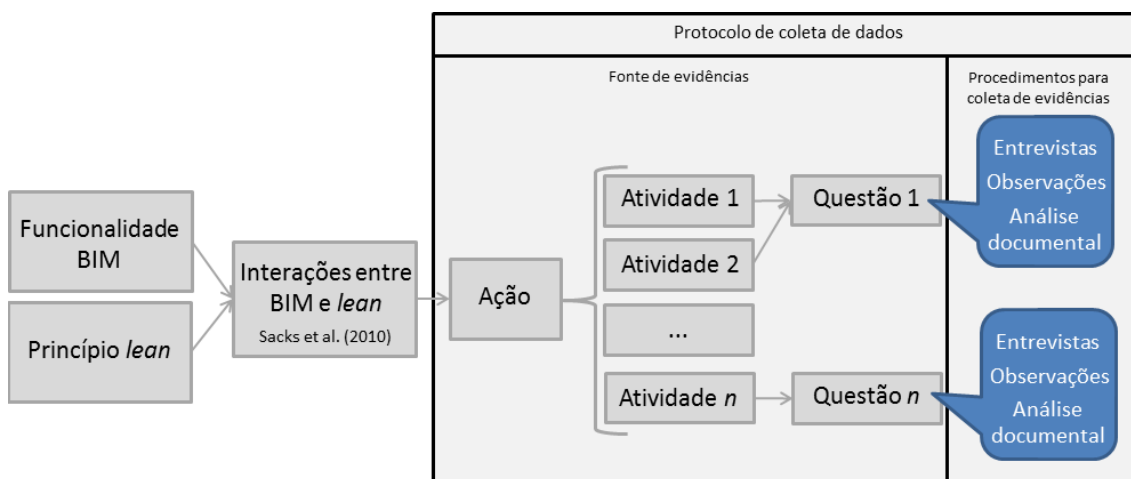
	atividades pelo modelo BIM.	planejamento e controle?		produção, sobre a melhoria contínua. Realizar entrevistas semiestruturadas com gestores da produção.
--	-----------------------------	--------------------------	--	--

\* Os números das ações se referem à tabela 2

Fonte: o autor (2015)

O desenvolvimento do trabalho partiu de uma intervenção do pesquisador, na utilização do modelo BIM no PCP da obra. Com objetivo de operacionalizar as interações entre BIM e construção enxuta, foram propostas ações que agrupassem interações semelhantes. Assim foi possível a aplicação direta dessas interações. Cada ação possuía um conjunto de atividades que deveriam ser feitas ou promovidas com o apoio do pesquisador. Para cada atividade, uma ou mais questões eram propostas, as quais deveriam ser respondidas com base nos dados coletados (orientados pelo protocolo de coleta de dados) e analisados. Está ilustrada na figura 11, a sistemática de aplicação das ações com base em interações.

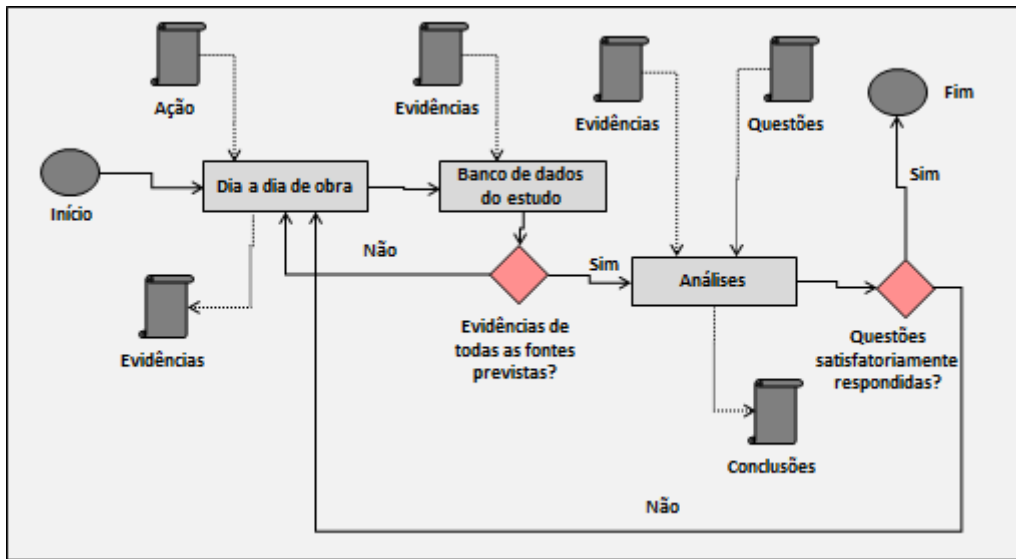
Figura 11 – método de aplicação de cada ação do protocolo de coleta de dados



Fonte: o autor (2015)

Na figura 12 está ilustrado como as análises eram feitas a partir das evidências coletadas com o protocolo de coleta de dados.

Figura 12 – aplicação de cada ação do protocolo de coleta de dados



Fonte: o autor (2015)

## 4. ESTUDOS

### 4.1. ETAPA EXPLORATÓRIA

Esta etapa objetivou-se de treinar o pesquisador nos conhecimentos teóricos adquiridos até então. Além disso, explorar o trabalho com o mapeamento de processos organizacionais, modelo BIM e Sistema Last Planner.

#### 4.1.1. Estudo exploratório: empreendimento A

- Introdução.

O empreendimento A foi a primeira obra realizada pela empresa A. Consistia numa obra de quatro blocos, quatro pavimentos cada, seis unidades por pavimento, totalizando 5.120 metros quadrados de construção e situa-se no município de Araucária, Paraná. A implantação do empreendimento A contava com salão de festas, quadra poliesportiva, parque de recreação, pista de skate e estação de tratamento de esgoto. A figura 12 demonstra fotos todo empreendimento A.

Figura 12 – Fotos do empreendimento A



Fonte: incorporadora do empreendimento A (2015)

A empresa A (incorporadora) realizou a incorporação do empreendimento, onde firmou parceria com uma empresa gerenciadora, responsável por gerenciar a produção, elaborar projetos de engenharia, fornecer suprimentos para o canteiro de obras e responsabilidade técnica. O empreendimento passou por um processo de licitação para uma organização que ficasse responsável apenas por contratar mão de obra e produzir. Esta foi à empresa construtora. A licitação ocorreu em novembro de 2012 e a obra iniciou em janeiro de 2013. As três empresas juntas como uma organização somavam aproximadamente 15 funcionários com apenas uma obra em produção.

O pesquisador atuou junto da equipe gestora no planejamento e controle da obra, integrante da equipe da empresa gerenciadora. O sistema de gestão da obra contava com um planejamento mestre, elaborado no software Microsoft Project, e também com uma linha de balanço. Desde a primeira semana de obra, o Sistema Last Planner foi utilizado, com reuniões semanais envolvendo o responsável técnico, pesquisador, almoxarife (os três da gerenciadora), engenheiro de produção, mestre de obras (ambos da construtora) e os empreiteiros responsáveis. O controle era realizado pelos seguintes indicadores: Percentual de Atividades Programadas (PAP), Percentual de Programação de Atividades (PPA) e Percentagem de Programação Concluída (PPC), nos planos Lookahead e plano de trabalho semanal (MENDES JUNIOR, 1999; GARRIDO, MENDES JUNIOR, AGOSTINI e SILVA, 2013)

O modelo BIM foi desenvolvido durante os meses de janeiro até março de 2013, em fase inicial de produção.

- Elaboração do modelo BIM.

Para a elaboração do modelo BIM deste empreendimento A e de todos os outros, foi considerado o estudo de Biotto (2012, p. 60) para a escolha das ferramentas adequadas. Outro fator importante foi a familiaridade do pesquisador com os softwares de ambos os fabricantes.

O objetivo da elaboração do modelo BIM foi treinar o pesquisador nos softwares Autodesk Revit e Autodesk Navisworks Manage, além de compatibilizar projetos e verificar o planejamento com modelo BIM 4D. Equipes de outros pesquisadores e da empresa gerenciadora auxiliaram o pesquisador na produção do modelo.

O modelo BIM foi produzido através de pranchas dos projetos já anteriormente elaborados e compatibilizados no ambiente 2D. A figura 13 demonstra imagens do modelo BIM.

Figura 13 – o modelo BIM do empreendimento A



Fonte: o autor (2015)

O fluxo de desenvolvimento do modelo BIM não se confundia com o fluxo de obra.

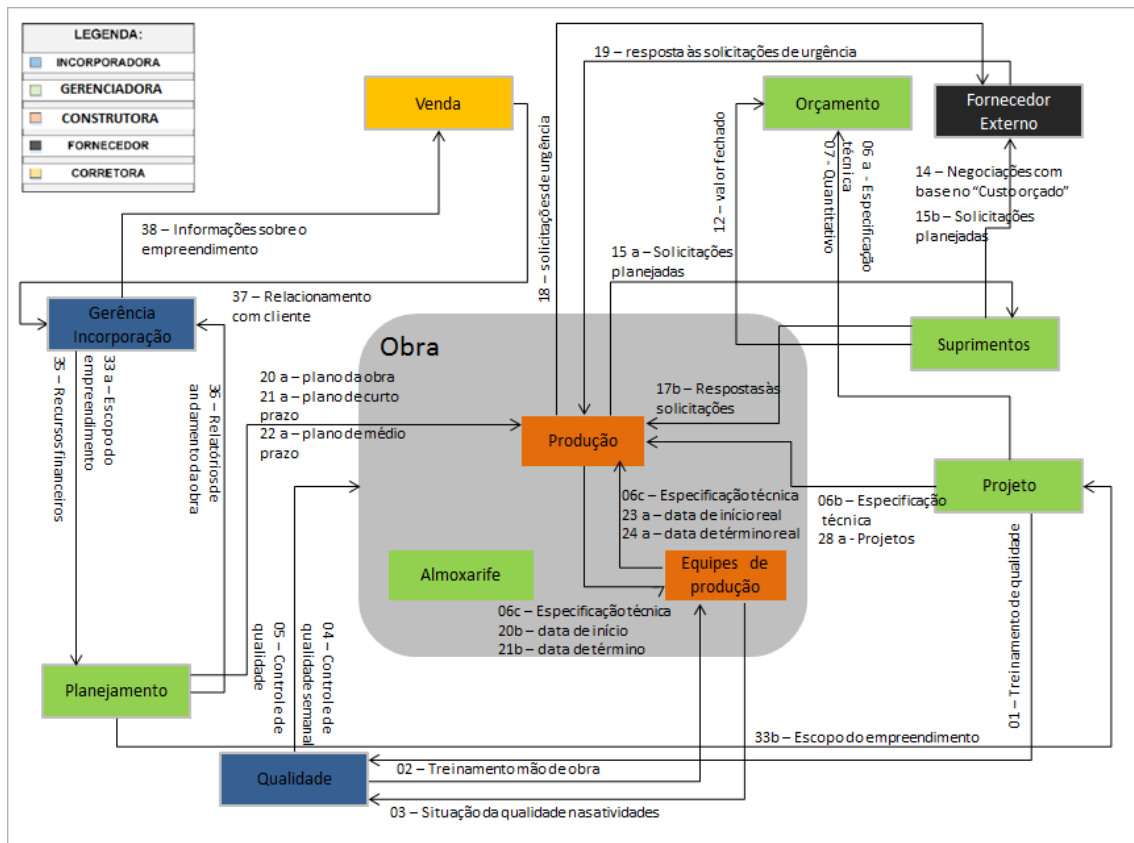
Depois de produzido o modelo BIM 3D, o pesquisador elaborou o modelo BIM 4D. O objetivo era verificar o planejamento mestre da obra anteriormente elaborado, buscando informações para tomada de decisão, também conferir a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) da gerenciadora. No caso da pesquisa, foi principalmente conferir o nível de precisão desta EAP em consideração de atividades produtivas operacionais.

Depois de pronto, os modelos BIM 3D e 4D foram levados a reuniões de Lookahead para verificação de pontos no planejamento e incompatibilidades físicas entre disciplinas.

- Diagrama de fluxo de dados (DFD).

A elaboração do diagrama de fluxo de dados serviu como visão dos processos da organização ali criada, com a presença de três empresas. A figura 14 demonstra o DFD da organização. Sua elaboração foi com base em entrevistas semiestruturadas com o responsável técnico pela obra, caracterizado pelo campo produção, entrevistas semiestruturadas apenas de confirmação com outros responsáveis (apenas para confirmar o que o responsável técnico havia falado) e observações diretas.

Figura 14– DFD do empreendimento A na visão do engenheiro de produção



Fonte: o autor (2015)

A incorporadora apenas conversava com o departamento de planejamento, a fim de verificar prazos e andamento físico-financeiro do empreendimento. O engenheiro de produção estava em contato constante com planejamento, suprimentos, projeto e equipes de produção. Somente se comunicava com fornecedores externos quando algum recurso lhe faltava e a urgência não poderia esperar o pedido ao departamento de suprimentos. O almojarifado apenas armazenava e liberava recursos para a mão de obra.

Conforme dito na seção de materiais e métodos, o objetivo era auxiliar o pesquisador a decidir onde utilizar o modelo BIM para auxiliar princípios *lean*, caracterizando interações.

- PCP: puxa a utilização das interações

Após um estudo aprofundado sobre o DFD da obra e da experiência do pesquisador junto ao PCP da empresa, as seguintes interações foram escolhidas e justificadas posteriormente.

Quadro 3 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.

Nº	Funcionalidade BIM	#	Princípio Lean	#	#	Ações
1	Checagem "Clash" automática	7	Verificar e Validar	U	12	Nº1
2	Checagem "Clash" automática	7	Redução da variabilidade	A, B	12	
3	Geração automatizada de tarefas	11	Redução da variabilidade: qualidade na primeira tentativa	A	14	Nº2
4	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25	Nº3

Fonte: o autor (2015)

A justificativa foi o fluxo de dados de envio de (6b) especificação técnica e (28<sup>a</sup>) projetos de "Projetos" para "Execução"; e também o envio de (20b) data de início, (21B) data de término de "Planejamento" para "Execução".

Foi detectado que no primeiro fluxo de dados, o modelo BIM poderia melhorar a entrega do projeto com modelos BIM 3D. Para o segundo fluxo de dados, foi detectado que datas de início e término previstas deveriam ser conferidas via modelo BIM 4D, garantindo a confiabilidade no sistema de planejamento e controle da produção.

No mês de fevereiro de 2013, o pesquisador utilizou a ferramenta *clash detection* entre modelos estruturais e de instalações hidráulicas. As incompatibilidades foram encaminhadas ao projetista responsável e solucionadas. O resultado foi levado ao canteiro de obras para ter contato com a mão de obra produtiva. Ainda neste mês, o modelo BIM 4D foi utilizado para

revisar o planejamento de obras e a EAP. Verificações pertinentes foram anotadas e levadas a uma reunião de Lookahead para ser demonstrada ao mestre de obras, ao responsável técnico da obra e ao engenheiro de produção da empresa construtora.

- Índice de Boas Práticas de Planejamento e Controle da Produção (IBPPCP).

Através de uma entrevista com o diretor técnico da gerenciadora, foi possível avaliar o IBPPCP desta organização.

Item	Implementação plena	Implementação parcial	Não implementado
Padronização do PCP	1		
Hierarquização do planejamento	1		
Análise e avaliação qualitativa dos processos:		0,5	
Análise dos fluxos físicos:		0,5	
Análise de restrições		0,5	
Utilização de dispositivos visuais:		0,5	
Formalização do planejamento de curto prazo	1		
Especificação detalhada das tarefas		0,5	
Programação de tarefas reservas			0
Tomada de decisão participativa		0,5	
Utilização do PPC e	1		

identificação das causas dos problemas			
Utilização de sistema de indicadores de desempenho			0
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas:	1		
Realização de reuniões para difusão de informações	1		
Total:	6	3	0
		Total:	64,28%

Para essa organização, o IBPPCP é igual a 64,28%. Segundo Bernardes (2001), a implementação de PCP foi eficaz.

- Método de intervenção.

De acordo com o DFD elaborado, a proposta de intervenção foi para os seguintes dados nas seguintes ações, conforme tabela abaixo.

Dado	Ação	Descrição
28 a - projetos	Número 1	Fornecimento de projetos compatibilizados e detalhes tridimensionais através do modelo BIM
20 a – plano da obra	Número 2	Com modelo BIM 3D elaborado, sua integração com a EAP organizacional identifica pacotes de trabalho negligenciados.
	Número 3	O visualização do modelo BIM 4D refina o planejamento da obra
22 a – plano de médio prazo		

## **4.2. ETAPA DE DESENVOLVIMENTO**

Nesta etapa, o método de intervenção estava elaborado com base no estudo exploratório.

### **4.2.1. Estudo empírico: empreendimento B**

- Introdução.

O empreendimento B consistia numa obra de uma torre residencial, quinze pavimentos sendo o último duplex, dois subsolos, com oito unidades por pavimento, totalizando 11.547 metros quadrados de construção e situa-se no município de Curitiba, Paraná. Como áreas comuns, o empreendimento contava com brinquedoteca, biblioteca, piscina, sala de ginástica e salão de festas. A figura 15 demonstra fotos do empreendimento B

Figura 15 – Perspectiva do empreendimento B



Fonte: construtora do empreendimento B (2015)

A construtora do empreendimento B foi responsável pela incorporação e construção deste empreendimento. Internamente, a empresa possui um departamento de planejamento e controle da produção. Este departamento gerencia projetos, elabora detalhes construtivos, elabora planejamentos e controla a produção com base em indicadores de desempenho. Há um departamento responsável por contratação e entrega de suprimentos e mão de obra terceirizada. As obras são produzidas com equipe própria de administração (engenheiro de produção, mestre de obras, administrativo, almoxarife e técnico em edificações) e o diretor técnico atua como gerente das obras. A empresa possui aproximadamente 50 funcionários e, no momento da pesquisa, estavam três obras em produção.

Neste estudo, o pesquisador auxiliou o engenheiro de produção da obra no PCP. A obra, desde seu início, já realizava o Sistema *Last Planner*, com reuniões semanais, pouca utilização do *Lookahead* e identificação de restrições

não sistemática. O controle da produção era realizado através de um cronograma em Microsoft *Project* (retroalimentado semanalmente) um cronograma físico financeiro (retroalimentado mensalmente) e pelo indicador Percentagem de Programação Concluída (PPC).

O pesquisador começou o estudo de caso em janeiro de 2014. Até junho de 2014, apenas a familiarização com o Sistema *Last Planner* foi feita. De junho até setembro de 2014 o modelo BIM 4D foi elaborado. As atividades de massa corrida estavam em produção, bem como colocação de janelas, no momento em que o modelo BIM 4D começou a ser utilizado. Já constava dentro do *Lookahead* a colocação de portas e pintura final, no momento de intervenção com o modelo BIM. De setembro a dezembro de 2014, o modelo BIM foi utilizado para PCP.

- Elaboração do modelo BIM.

Neste estudo de caso, o fluxo de desenvolvimento do modelo BIM não se confundia com o fluxo de obra. Através de pranchas de projetos o modelo foi elaborado. A detecção de incompatibilidades físicas não foi alvo deste estudo de caso, somente o PCP.

Figura 16 – o modelo BIM do empreendimento B



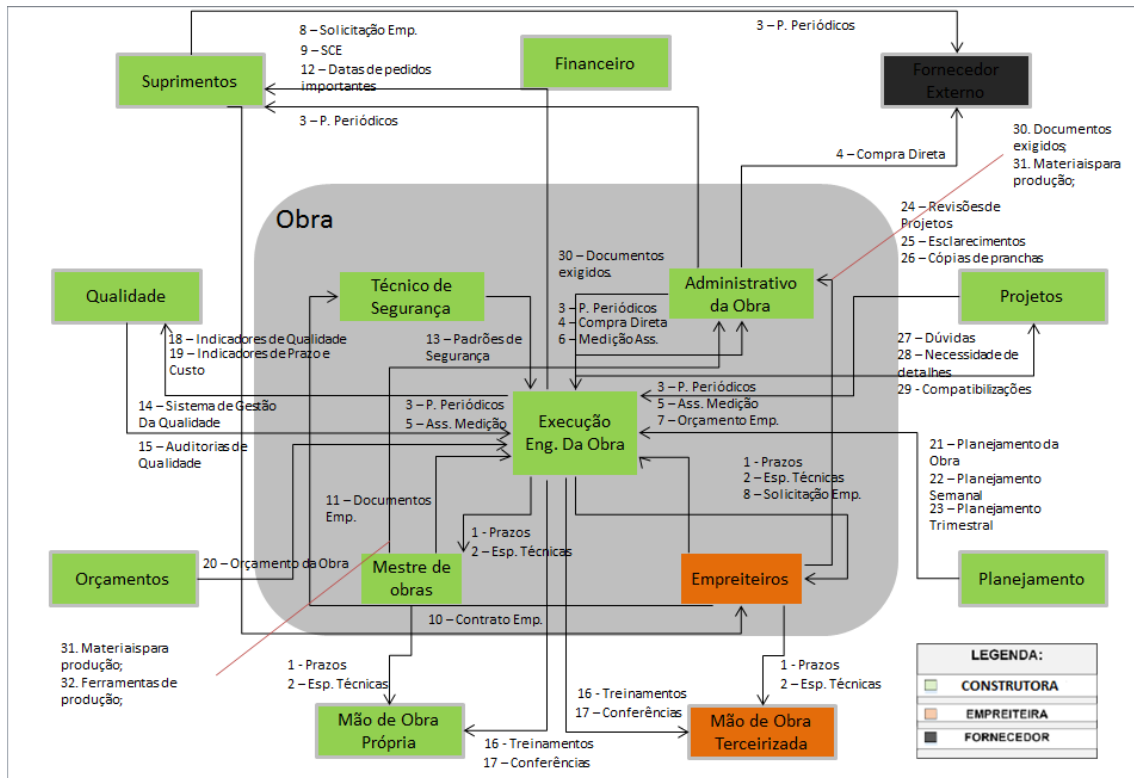
Fonte: o autor (2015)

Foram elaborados dois modelos BIM 4D, a partir de apenas um BIM 3D: um modelo BIM 4D para planejamento e um modelo BIM 4D para controle. O primeiro foi usado para visualizações e previsões no plano *Lookahead*. O segundo controlava o dia a dia operacional de obra, com status de produção para cada pacote de trabalho.

- Diagrama de fluxo de dados.

Através de uma entrevista semiestruturada com o engenheiro de produção e com o diretor técnico da obra, o DFD pode ser elaborado. Ao longo do trabalho do pesquisador, observações diretas, e algumas entrevistas com responsáveis foram realizadas. A figura 17 demonstra o DFD da empresa.

Figura 17 – DFD do empreendimento B na visão do engenheiro de produção



Fonte: o autor (2015)

- PCP: puxa a utilização das interações

Com o trabalho do pesquisador na equipe de PCP, as seguintes interações foram puxadas, conforme o quadro 4.

Quadro 4 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.

Nº	Funcionalidade BIM	#	Princípio Lean	#	#	Ações
1	Checagem "Clash" automática	7	Verificar e Validar	U	12	Nº1
2	Checagem "Clash" automática	7	Redução da variabilidade	A, B	12	
3	Geração automatizada de tarefas	11	Redução da variabilidade: qualidade na primeira tentativa		14	Nº2
4	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25	Nº3
5	Geração automatizada de tarefas	11	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25	
7	Visualização do cronograma em 4D	13	Verificar e validar	U	47	Nº4
8	Visualização do Status do Processo	14	Verificar e Validar	U	47	
13	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução da variabilidade com foco na melhoria do fluxo	B	40	Nº6
9	Visualização do Status do Processo	14	Redução do tempo de ciclo através da redução de estoque em processo	D	30	Nº5
10	Contextualização através de dados coletados dentro	18	Redução do tempo de ciclo através da	D	30	

	e/ou fora da obra		redução de estoque em processo			
12	Comunicação online do produto e processo	15	Redução do tempo do ciclo através da redução de estoque em processo	D	30	
15	Visualização do Status do Processo	14	Sistema de produção puxada	H	34	Nº7
16	Comunicação Online de produto e processo	15	Sistema de produção puxada		34	
17	Contextualização através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Sistema de produção puxada	H	34	

Fonte: o autor (2015)

As interações com a funcionalidade “checagem *clash* automática” foram realizadas em pacotes de trabalho já produzidos. A solução dada entre modelo BIM e o produto pronto foram comparadas e uma entrevista semiestruturada foi feita com o profissional responsável. Porém, o estudo do modelo BIM na fase de projetos poderia representar o fluxo do dado 24 (revisões de projetos) e 35 (esclarecimentos).

As interações com as funcionalidades “visualização do cronograma em 4D” e “geração automatizada de tarefas” eram utilizadas pelo pesquisador antes de reuniões de *Lookahead*, levantando questões produtivas para discussão. A primeira funcionalidade foi utilizada em verificação da sequência e a segunda para atividades que estavam sendo negligenciadas. Neste estudo, o BIM transmitiu o dado 22 (planejamento semanal), 23 (planejamento trimestral) e o dado 1 (prazos), desde o engenheiro de produção até o empreiteiro e mestre de obras.

Por fim, as interações que apresentavam funcionalidades “comunicação online de produto e processo”, “visualização do status do processo” e “contextualização através de dados coletados dentro e fora de obra” foram realizadas no dia a dia de obra, para controle da produção. Os dados coletados eram retroalimentados no modelo em forma de status produtivo. Todos os status eram representados por uma cor específica. O dado 3 (pedidos periódicos) foi puxados pela gestão de restrições no modelo BIM. Dados 5 (assinatura de medição) e 9 (solicitação de medição) também tinha comunicação visual através do modelo BIM. Algumas informações extraídas pelo modelo BIM não foram detectadas no fluxo de dados da obra.

- Índice de Boas Práticas de Planejamento e Controle da Produção (IBPPCP).

Item	Implementação plena	Implementação parcial	Não implementado
Padronização do PCP	1		
Hierarquização do planejamento	1		
Análise e avaliação qualitativa dos processos:		0,5	
Análise dos fluxos físicos:		0,5	
Análise de restrições		0,5	
Utilização de dispositivos visuais:		0,5	
Formalização do planejamento de curto prazo	1		
Especificação detalhada das tarefas		0,5	
Programação de tarefas reservas			0
Tomada de decisão	1		

participativa			
Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas	1		
Utilização de sistema de indicadores de desempenho		0,5	
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas:	1		
Realização de reuniões para difusão de informações	1		
Total:	7	3	0
		Total:	71,43%

Para essa organização, o IBPPCP é igual a 71,43%. Segundo Bernardes (2001), a implementação de PCP foi eficaz.

- Método de intervenção.

Neste estudo de caso, o pesquisador integrou a equipe de PCP. Foi necessário se envolver com o dia a dia de produção, com a equipe e com as discussões e metas da engenharia de obra. O Sistema *Last Planner* era conduzido pelo engenheiro de produção, porém, com apoio do pesquisador. Eram realizadas reuniões mensais de *Lookahead* e reuniões semanais para programação. O pesquisador estava diretamente ligado ao planejamento de obra.

As ações de BIM integraram os seguintes dados diante do DFD elaborado:

Dado	Ação	Descrição
2 – especificações técnicas	Número 1	Através do modelo BIM 3D é possível transmitir as especificações técnicas para a produção.
16 – treinamentos		Explicar produtos mais complexos à mão de obra, sem a necessidade da interpretação de um conjunto de projetos em duas dimensões
17 – conferências		Realizar conferências dos produtos realizados em canteiro com apoio do modelo BIM
25 – esclarecimentos		Esclarecer dúvidas de visualização de projeto
21 – planejamento da obra	Número 2	Com o refino da EAP da organização, apoiada pelo modelo BIM, o planejamento pode ser elaborado a nível operacional dos pacotes de trabalho
	Número 3	O modelo BIM 4D auxiliou por momentos o reestudo e replanejamento da obra já em andamento
23 – planejamento trimestral	Número 4	A utilização do modelo BIM 4D integrado ao <i>Lookahead</i> trouxe a possibilidade de estudar o planejamento.
3 – pedidos periódicos		Restrições eram levantadas em reuniões de planejamento <i>Lookahead</i> . Os responsáveis eram avisados
22 – planejamento semanal	Número 5	Com a implantação de BIM nas reuniões de Last Planner, as metas semanais eram obtidas através da consideração de pacotes de trabalho sem restrição. Visualmente as discussões sobre produção são favorecidas
1 – prazos		Prazos são discutidos e estratégias produtivas repensadas com apoio da visualização.
17 – conferências		Número 7
		Conferências de qualidade e andamento dos pacotes de trabalho são possíveis de serem realizados através da visualização de status dos pacotes de trabalho.

#### 4.2.2. Estudo empírico: empreendimento C

- Introdução.

O empreendimento C consiste numa obra de quatro torres com oito pavimentos, oito unidades por pavimento, um subsolo em três das quatro torres e dois subsolos em apenas uma, totalizando 18.745 metros quadrados de construção. A obra se situa no município de Curitiba, Paraná. Como áreas comuns, o empreendimento contava com brinquedoteca, piscina, sala de música, churrasqueira coletiva, cinema, ginástica e salão de festas. Uma das quatro torres apresentava um espaço com salas comerciais.

Figura 18 – Fotos do empreendimento C: (A) torre 1; (B) torre 2; (C) torre 3; (D) torre 4.



Fonte: construtora do empreendimento C (2015)

A obra era um consórcio entre uma empresa construtora e uma empresa incorporadora. A construtora possuía, no momento, 35 obras em andamento. 584 funcionários, caracterizando-se como uma empresa de médio porte. Seu escritório contava com um departamento específico para planejamento e

controle, um departamento para qualidade, um departamento para orçamento, um departamento para projetos e um departamento para suprimentos.

No canteiro de obras, havia um engenheiro de produção, um engenheiro júnior, um técnico e três mestres de obra. O planejamento era realizado em reuniões não sistemáticas entre os mestres e os engenheiros. O controle era realizado com a retroalimentação da produção mensal em uma planilha do software Microsoft Excel.

O pesquisador começou o estudo de caso em outubro de 2013. Deste mês até janeiro de 2014, foi o tempo de se familiarizar com a equipe elaborar DFD. De fevereiro até agosto de 2014, foi à implantação e maturação do Sistema *Last Planner*. Deste último mês até outubro de 2014 foi o período de utilização do modelo BIM no PCP da obra.

- Elaboração do modelo BIM.

O fluxo de desenvolvimento do modelo BIM não se confundia com o fluxo de obra. Apenas foram produzidos modelos estruturais e arquitetônicos, para representar pacotes de trabalho de massa corrida até limpeza de obra.

Figura 19 – o modelo BIM do empreendimento C

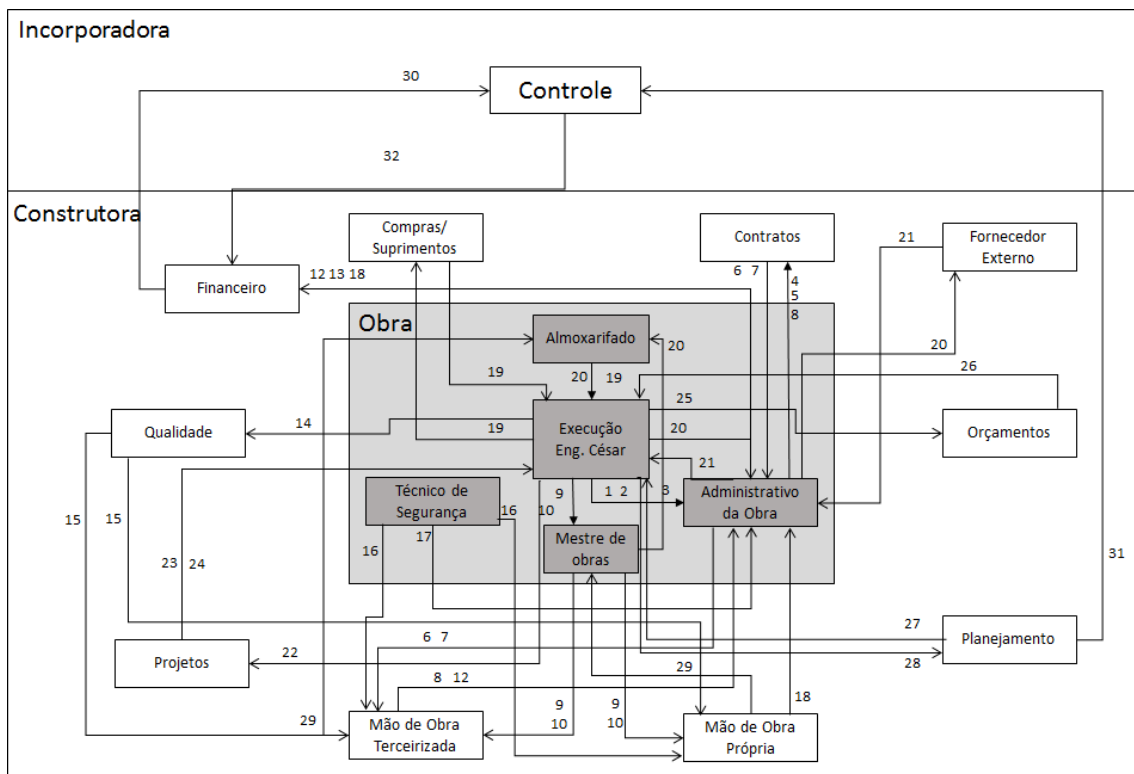


Um modelo BIM 4D não foi elaborado. O modelo apenas representaria um controle de status em obra.

- Diagrama de fluxo de dados.

Através de uma entrevista semiestruturada com o engenheiro, almoxarife e administrativo de obra, o DFD pode ser elaborado. Ao longo do trabalho do pesquisador, observações diretas e algumas entrevistas com responsáveis foram realizadas. A figura 20 demonstra o DFD da empresa.

Figura 20 – DFD do empreendimento c na visão do engenheiro de produção



1	Solicitação de M.O própria	18	Horas trabalhadas no mês
2	Solicitação de M.O terceirizada cadastrada	19	Pedido de compras programadas: solicita aprovação
3	Solicitação de M.O terceirizada indicada pela obra	19b	Resposta de compras programadas, o suprimentos acompanha o cronograma de compras e mantém o engenheiro informado
4	Solicitação de contrato com verificação de M.O terceirizada indicada pela obra	20	Pedido de compras urgentes
5	Solicitação de contrato de M.O terceirizada cadastrada na empresa	21	Resposta de fornecedor externo
6	Contrato de M.O terceirizada indicada pela empresa	22	Solicitação de projetos
7	Contrato de M.O terceirizada indicada pela obra	23	Projetos Executivos compatibilizados
8	Dados da empresa: CNPJ, Razão Social, etc.	24	Dúvidas tiradas com projetistas, especificações
9	Especificação técnica	25	Índices de consumo coletados
10	Prazos para atividades serem realizadas	26	Orçamento inicial da obra
11	Medição mensal do empreiteiro	27	Planejamento inicial da obra
12	Nota fiscal: medição realizada	28	Planejamento realizado da obra
13	Notas fiscais de insumos	29	Solicitações de obra
14	CQE - Controle de qualidade sobre as atividades	30	Planilha com medições mensais
15	Treinamento de qualidade da empresa	31	Situação do Planejamento
16	Treinamento de segurança e cobrança de padrões	32	Quitação da medição
17	Documentos de segurança, ASU, PCMSO, PPA, Plano de Qualidade da obra,...		

Fonte: o autor (2015)

- PCP: puxa a utilização das interações.

O trabalho diretamente no apoio ao PCP puxou as seguintes interações (quadro 5):

Quadro 5 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhidas para o estudo de caso.

Nº	Funcionalidade BIM		Princípio Lean	#	#	Ações
8	Visualização do Status do Processo	14	Verificar e Validar	U	47	Nº4
9	Visualização do Status do Processo	14	Redução do tempo de ciclo através da redução de estoque em processo	D	30	Nº5
6	Comunicação Online de produto e processo	15	Sistema de produção puxada	H	34	Nº7
7	Previsões através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	18	Sistema de produção puxada	H	34	

Fonte: o autor (2015)

Todas as interações foram utilizadas para gerir o status produtivo de obra. Este empreendimento apresentava elevada quantidade de pacotes de

trabalho com falta de terminalidade, assim, o modelo BIM trazia visualmente quais eram estes pacotes.

Os dados diante do PCP nos quais o BIM auxiliou foram 10 (prazos de atividades a serem realizadas), trazendo pacotes de trabalho em nível de plano semanal; 14 (CQE – controle de qualidade e execução), gerando um diagnóstico de qualidade e terminalidade dos pacotes de trabalho relacionados no Sistema *Last Planner*.

- Índice de Boas Práticas de Planejamento e Controle da Produção (IBPPCP).

Através de uma entrevista com o engenheiro da obra, foi possível avaliar o IBPPCP desta organização.

Item	Implementação plena	Implementação parcial	Não implementado
Padronização do PCP		0,5	
Hierarquização do planejamento			0
Análise e avaliação qualitativa dos processos:		0,5	
Análise dos fluxos físicos:		0,5	
Análise de restrições		0,5	
Utilização de dispositivos visuais:		0,5	
Formalização do planejamento de curto prazo			0,0
Especificação detalhada das tarefas		0,5	
Programação de tarefas reservas			0,0

Tomada de decisão participativa		0,5	
Utilização do PPC e identificação das causas dos problemas			0,0
Utilização de sistema de indicadores de desempenho	1,0		
Realização de ações corretivas a partir das causas dos problemas:	1,0		
Realização de reuniões para difusão de informações	1,0		
Total:	3	3,5	0
		Total:	46,43%

Para essa organização, o IBPPCP é igual a 46,43%. Segundo Bernardes (2001), a implementação de PCP não foi eficaz. Mesmo assim a empresa foi utilizada como estudo de caso.

- Método de intervenção.

Por decisão inicial, foi escolhida a utilização do modelo BIM junto ao PCP de obra. Para isso, demandou a implantação do Sistema *Last Planner* no empreendimento. Durante os meses de fevereiro até outubro de 2014, o pesquisador atuou coletando dados e gerando discussões diante do planejamento e controle. Eram realizadas reuniões semanais para rever o planejamento *Lookahead* e a programação semanal. A figura 21 foi tirada em uma das reuniões.

A condução da reunião era realizada pelo pesquisador. Os dados preenchidos nas planilhas do *Last Planner* eram trazidos pelos mestres de obras e empreiteiros.

Figura 21 – reunião de planejamento pelo Sistema *Last Planner*



Fonte: o autor (2015)

Por conta do problema de pacotes de trabalho de falta de terminalidade, o pesquisador junto do engenheiro júnior e técnico em edificações, elaboraram um banco de dados de falta de terminalidade. O modelo BIM era o resumo deste banco de dados, indicando quais pacotes de trabalho apresentavam este problema. Dessa forma, um dado que não constava no DFD foi criado e passou a ser gerenciado: situação de terminalidade. A tabela a seguir expõe os dados do DFD junto das ações da pesquisa.

Dado	Ação	Descrição
14 – CQE: controle de qualidade e execução	Número 4, 5 e 7	Visualizando o modelo BIM foi possível gerir por status os pacotes de trabalho que necessitavam de conferência de qualidade e que apresentavam falta de terminalidade.
Situação de terminalidade		

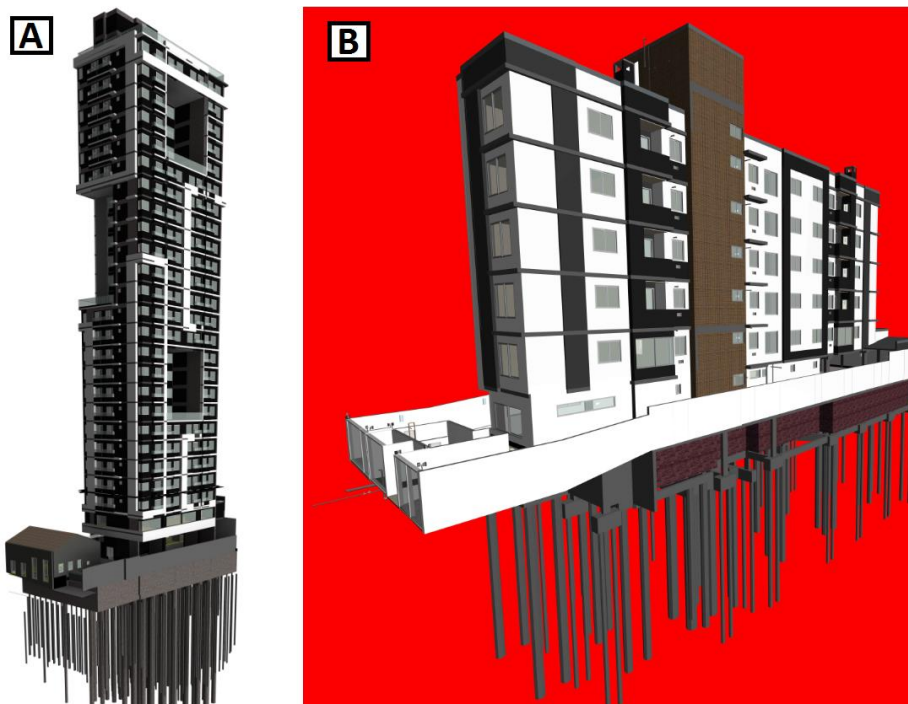
#### **4.2.3. Estudo empírico: empreendimento D e E.**

O estudo de caso realizado em dois empreendimentos, D e E, foram desenvolvidos na fase de pré-obra. O objetivo da utilização do modelo BIM era auxiliar na elaboração dos documentos a serem utilizados em obra, ou seja, planejamento mestre e projetos compatibilizados. O formato de intervenção e condução do estudo de caso foi o mesmo em ambos os empreendimentos, por isso a opção de agregar apenas um estudo.

- Introdução.

O empreendimento D consiste em um edifício residencial com 26 pavimentos, seis unidades por pavimento, apenas um subsolo, totalizando 8.039,72 metros quadrados de construção. As residências são quitinetes. Como áreas comuns, o edifício contém piscina, salão de festas e lavanderia. O empreendimento E consiste em um edifício residencial com seis pavimentos, um subsolo, quatro unidades por pavimento, totalizando 1.839,54 metros quadrados de construção. Como áreas comuns, o edifício possui uma piscina, sala de ginástica e salão de festas. Ambos os empreendimentos são situados em Curitiba, Paraná, e são de responsabilidade da empresa D, atuando como construtora e incorporadora. A figura 22 demonstra os empreendimentos.

Figura 22 – (A) perspectiva do empreendimento D e; (B) perspectiva do empreendimento E.



Fonte: a construtora (2015)

A empresa construtora possui quadro de aproximadamente 20 funcionários, onde os departamentos de suprimentos, planejamento, projetos, produção, qualidade e comercial têm suas funções distribuídas entre quatro sócios fundadores. Uma segunda empresa, aqui intitulada de empresa E, ficou responsável por gerenciar os projetos e produzir os modelos BIM 3D e 4D. Nesta empresa, o pesquisador atuava.

Os estudos foram realizados no pré-obra. Consistiram em checagem automática de incompatibilidades de projeto (*clash*) e refino do planejamento mestre da obra através do modelo BIM 4D. O empreendimento D teve seu estudo de caso realizado de abril até junho de 2014 e o empreendimento E de junho até agosto de 2014.

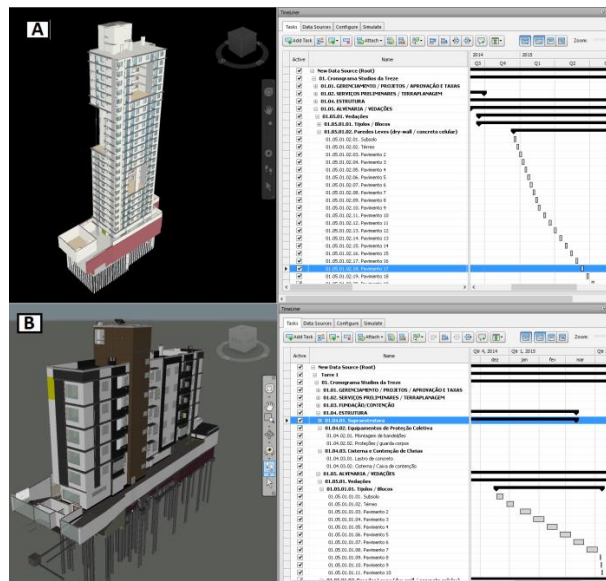
- Elaboração do modelo BIM.

Em ambos os estudos, o modelo BIM foi elaborado logo após o término dos projetos. O objetivo era detectar incompatibilidades para resolvê-las

juntamente com os projetistas. Uma vez resolvidas, o modelo BIM era atualizado. Assim foi o desenvolvimento do modelo BIM 3D.

Já o modelo BIM 4D, desenvolvido após a compatibilização, era integrado com um arquivo de Microsoft Project, representando o planejamento mestre da obra. Seu objetivo era refinar esse planejamento mestre. A figura 23 demonstra os modelos BIM 4D dos empreendimentos D e E.

Figura 23 – (a) empreendimento D; e (b) empreendimento E.



Fonte: o autor (2015)

- PCP: puxa a utilização das interações

As seguintes interações foram puxadas através da atuação com o PCP e utilizadas neste estudo de caso, conforme o quadro 6.

Quadro 6 – Interações entre BIM e construção enxuta escolhida para o estudo de caso.

Nº	Funcionalidade BIM	#	Princípio Lean	#	#	Ações
1	Checagem "Clash" automática	7	Verificar e Validar	U	12	Nº1
2	Geração automatizada de tarefas	11	Redução da variabilidade: qualidade primeira tentativa	A	14	Nº2

3	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução do tempo de ciclo de produção	C	25	Nº3
4	Geração automatizada de tarefas	11	Redução do tempo de ciclo de produção	C		
5	Visualização do cronograma em 4D	13	Verificar e validar	U	47	Nº4
6	Visualização do Cronograma em 4D	13	Redução da variabilidade com foco na melhoria do fluxo	B	40	Nº6

Fonte: o autor (2015)

As interações que apresentam a funcionalidade “checagem *clash* automática”, foram realizadas com a modelagem a partir dos projetos em pranchas 2D. As incompatibilidades eram detectadas em formato de relatório e encaminhadas ao projetista responsável. Este tinha o dever de resolver em seu projeto.

As interações que apresentam a funcionalidade “geração automatizada de tarefas” e “visualização do cronograma em 4D”, foram realizadas após a elaboração do modelo BIM 4D. Foram detectadas, pelo pesquisador, questões produtivas a serem discutidas com os diretores técnicos da empresa D. Em uma reunião específica, todas as questões foram discutidas e as tomadas de decisão agregadas ao planejamento mestre.

Para estes estudos, o Índice de Boas Práticas de PCP não foi utilizado, pois não houve atividades em obra. A escolha foi pela pesquisa na fase de pré-obra com BIM.

- Método de intervenção.

Uma empresa gerenciadora específica foi contratada para realizar o modelo BIM dos empreendimentos D e E. Neste momento, o pesquisador agregava a equipe de apoio da empresa gerenciadora. Durante as interações que contavam com o modelo BIM 3D, o pesquisador atuou como facilitador de

interações, coletando dados. Já a elaboração do modelo BIM 4D foi conduzida com apoio direto do pesquisador e da construtora.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. PROCEDIMENTO E RESPOSTAS AO PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

A seguir serão relatados resultados da aplicação do protocolo de coleta de dados nos estudos. Na tabela a seguir estão resumidas aplicações em cada estudo de caso.

Ação	Atividade	A	B	C	D e E
1	1	Sim	Sim	Não	Sim
	2	Sim	Sim	Não	Não
	3	Sim	Não	Não	Não
	4	Sim	Não	Não	Sim
2	5	Sim	Sim	Não	Sim
	6	Sim	Não	Não	Sim
	7	Não	Não	Não	Sim
	8	Não	Não	Não	Não
3	9	Sim	Sim	Não	Não
	10	Não	Sim	Não	Não
	11	Não	Sim	Não	Não
	12	Sim	Sim	Não	Não
4	13	Sim	Sim	Não	Não
	14	Sim	Sim	Não	Não
5	15	Não	Sim	Sim	Não
	16	Sim	Sim	Sim	Não
	17	Não	Sim	Não	Não
	18	Sim	Sim	Sim	Não
6	19	Sim	Sim	Sim	Sim
	20	Não	Não	Não	Não
	21	Não	Não	Não	Não
7	22	Sim	Sim	Sim	Não
	23	Não	Sim	Sim	Não
	24	Não	Sim	Sim	Não
	25	Não	Sim	Não	Não
8	26	Não	Não	Não	Não

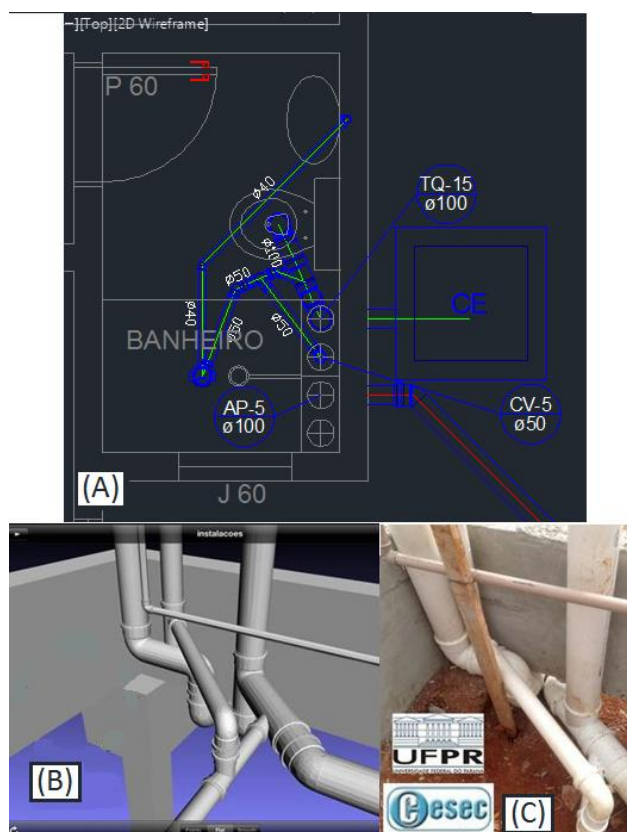
	27	Não	Não	Não	Não
--	----	-----	-----	-----	-----

a) Ação número 1.

- Atividade 01: realizar *Clash Detection* no software *Autodesk Navisworks* e escolher algumas interferências para se trabalhar.

No estudo de caso A, instalações de esgoto abaixo do pavimento térreo foram escolhidas para este fim. O resultado foi comparado com o projeto. A figura 24 demonstra o resultado. O modelo BIM 3D demonstrado já reflete soluções encontradas.

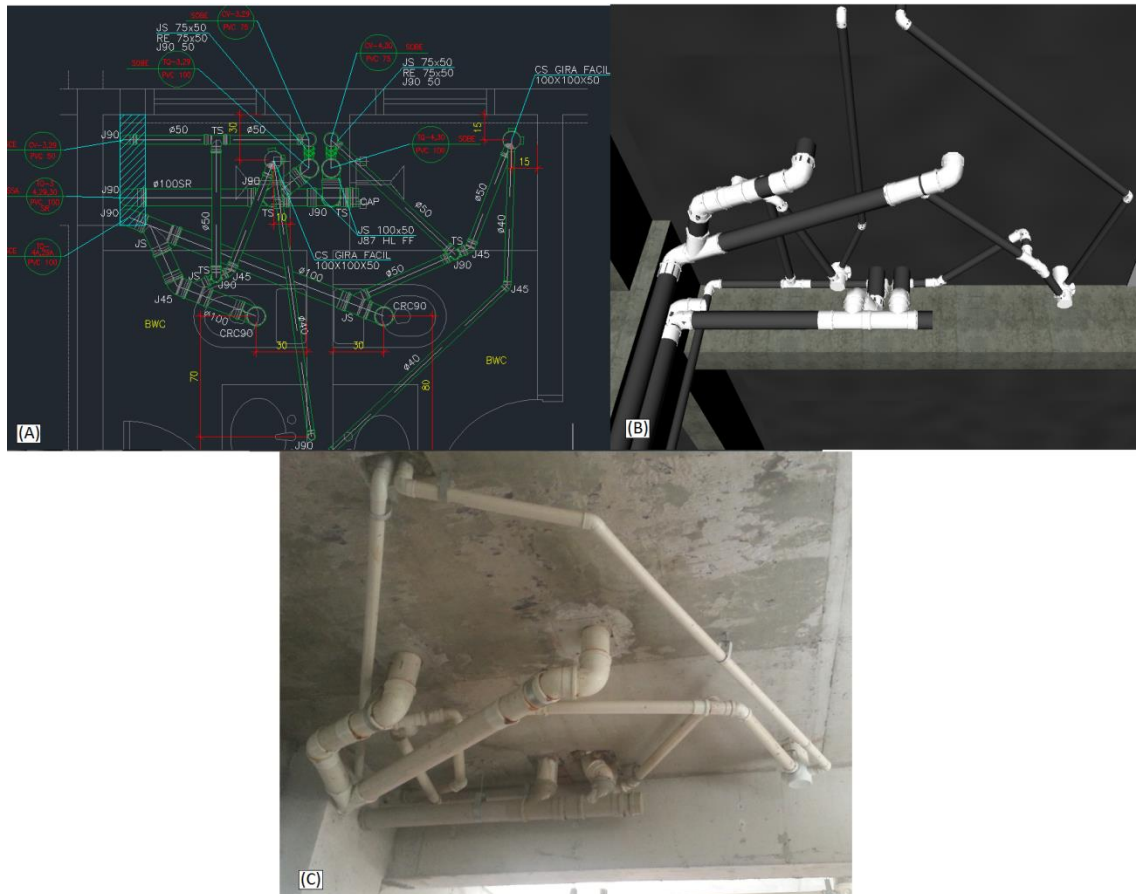
Figura 24 – (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro



Fonte: o autor (2015)

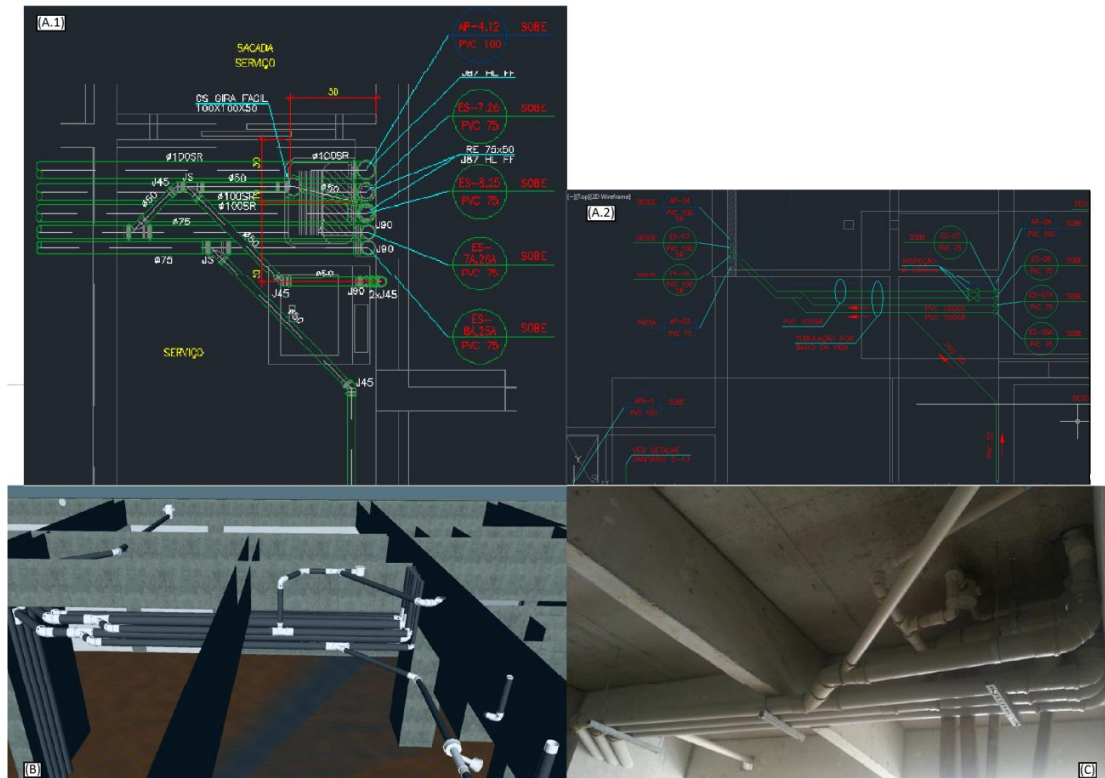
No estudo de caso B, o *clash detection* foi realizado após a produção, somente a título de conferência de solução encontrada via modelo BIM e via decisões da mão de obra. As figuras 25 e 26 demonstram esses resultados. Ambos os exemplos já refletem as soluções encontradas.

Figura 25 – produto 1: (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro



Fonte: o autor (2015)

Figura 26 – produto 2: (a) o projeto original; (b) o modelo BIM 3D com incompatibilidades resolvidas; e (c) o produto em canteiro



Fonte: o autor (2015)

Nos estudos D e E, em cada um foram realizados os testes de incompatibilidades em dois momentos: primeiramente entre arquitetura e estruturas, posteriormente entre todas as disciplinas de projeto. Nos apêndices 1 e 2 o trabalho traz os resultados destes testes.

Tabela 6 – questão: BIM promoveu melhoria em seu processo de projeto? O que prejudicou?

Estudo de caso	Resposta
A	Neste estudo de caso os projetos já estavam concluídos. O projetista apenas revisou a incompatibilidade
B	Neste estudo de caso o produto já estava realizado. O projetista não obteve contato com o BIM.
C	Não se aplicou
D e E	Como melhoria para projetistas, o número de revisões foi reduzido pela integração que BIM proporcionou. O que prejudicou foi o número de horas gastas para realizar essa revisão. Na opinião do projetista estrutural, sua equipe nunca tinha recebido tantas incompatibilidades de uma só vez. Para o construtor, a visualização e integração trouxe o

	entendimento melhor do empreendimento.
--	--

Fonte: o autor (2015)

Através da detecção e resolução de incompatibilidades, o projeto agrega qualidade, resolvendo situações que frequentemente poderiam ser resolvidas em obra. Tomadas de decisão no momento de produção podem ser realizadas por profissionais não capacitados ou com pouco tempo para avaliar diversas alternativas. Isso compromete a qualidade acrescentando chance de variabilidade. O projeto compatibilizado e suas informações serem apresentadas em formato tridimensional à mão de obra reduzem impactos negativos por variabilidade, além de aumentar a produtividade por conta do entendimento.

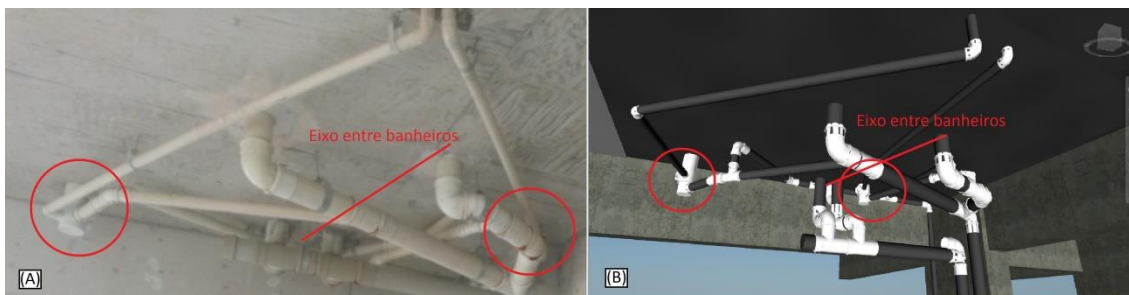
No caso de incompatibilidades detectadas, o erro já aconteceu. Porém, se projetistas não tivessem integração e colaboração por parte de BIM, elevado número de revisões em projetos poderia ocorrer. Nos estudos D e E, apenas

- Atividade 02: verificar como está sendo realizada em campo, a atividade alvo desta interferência.

No estudo de caso A, a figura 27 demonstra o produto em campo em comparação com o modelo BIM. Não foi possível ter acesso a documentos de qualidade, porém, foi possível perceber a padronização na produção. Nesta situação, o profissional teve contato direto com o modelo BIM em canteiro de obras: havia um *tablet* disponível para a mão de obra, além de pranchas com detalhes do modelo.

No estudo de caso B, é possível perceber que um sifão ficou deslocado, em relação ao especificado por projeto e modelo BIM no produto 1. A figura 4 demonstra.

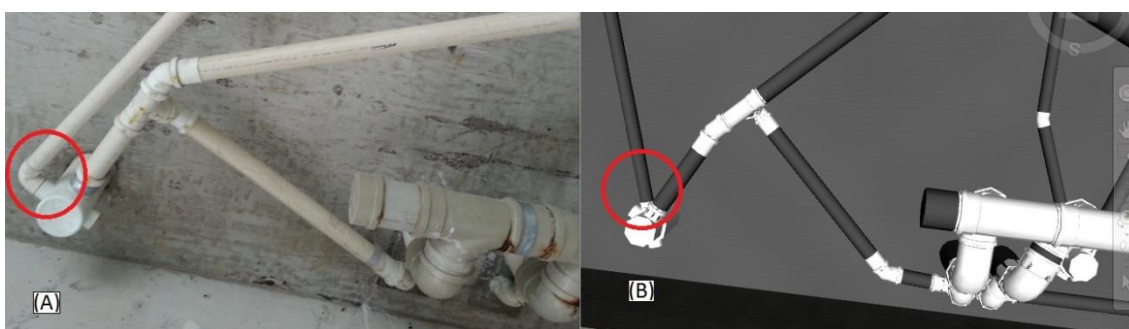
Figura 27 – produto 1: (a) produto em canteiro com sifão deslocado em relação ao eixo entre banheiros; (b) modelo BIM.



Fonte: o autor (2015)

Quanto ao outro sifão, seu encontro com a tubulação não previa uma perda de carga tal como produzido. A figura 28 demonstra a alteração.

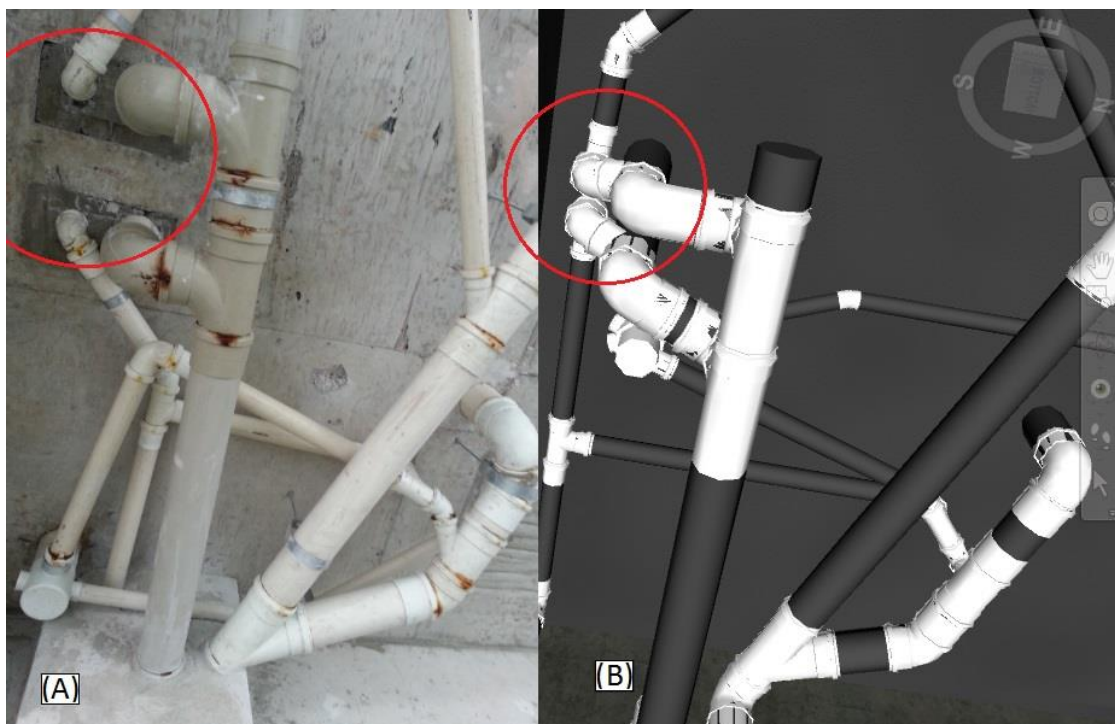
Figura 28 – produto 1: (a) produto em canteiro com entrada no sifão curva; (b) modelo BIM.



Fonte: o autor (2015)

Tubulações de ventilação tinham previsão de ligação com tubos de queda, via modelo BIM e projeto. Porém, em campo, não foram ligadas, conforme demonstra a figura 29.

Figura 29 – produto 1: (a) tubulações sem interligação; (b) modelo BIM.



Fonte: o autor (2015)

Ainda no estudo de caso B, o produto 2, o projeto em prancha não previa um desnível tão acentuado por conta de vigas. Isso obrigou aos encanadores produzirem uma queda. Ao encontrar as tubulações com 100 milímetros de diâmetro, o produto em canteiro previu este encontro antecipado, em relação ao projeto, conforme a figura 30.

Figura 30 – produto 2: (a) acentuada queda por desnível; (b) encontro antecipado das tubulações.



Fonte: o autor (2015)

Tabela 7 – questão: há falta de informação durante o trabalho, gerando dificuldades de execução?

Estudo de caso	Resposta
A	Profissional entrevistado relatou que há falta de informações. É preciso que o projeto seja visualizado mentalmente, mesmo assim gerando dúvidas no ato de produção. O profissional ainda comentou que experiência na profissão confere destreza na visualização mental. Também que sua produtividade aumentou. Essa entrevista e visita ao local de produção foi realizada em março de 2013.
B	Profissional entrevistado relatou que frequentemente é preciso consultar mais de uma prancha do projeto. Algumas vezes, as dúvidas são tiradas com o projetista responsável. Também, decisões chegam a ser tomadas até mesmo no exato momento de produção, por conta da falta de informação. Essa entrevista e visita ao local de produção foi realizada em julho de 2014.
C	Não se aplicou
D e E	Não obteve contato com profissional responsável.

Fonte: o autor (2015)

Através da observação em campo e comparação do produto com o modelo BIM foi possível responder a questão imposta acima. Também, os encanadores responsáveis e ajudantes passaram pela entrevista, que consta no APÊNDICE C.

As decisões de projeto são tomadas com apoio do BIM de maneira colaborativa, entre projetistas e construtores, é possível buscar a melhor situação. A variabilidade tem grande chance de ser aumentada quando o projeto é compreendido e tem suas decisões tomadas no momento da produção. Isso acontece também quando há carência de informações para produção. Porém, é necessário que as decisões e informações do projeto fiquem de livre acesso a mão de obra e não somente com a engenharia.

- Atividade 03: treinar a equipe com as informações do modelo BIM, deixando este disponível para consultas.

No estudo de caso A, os detalhes de projeto foram disponibilizados através de um *tablet* e pranchas com desenhos específicos. Ambos os detalhes estavam disponíveis com o técnico em edificações da obra. A figura 31 demonstra o contato da mão de obra com o modelo BIM.

Figura 31 – mão de obra em contato com pranchas retiradas do modelo BIM



Fonte: os autores

- Atividade 04: avaliar as próximas atividades após o treinamento e contato com o modelo.

No estudo de caso A, apenas as instalações de esgoto abaixo da laje do térreo foram verificadas, conforme a figura 31.

Tabela 8 – questão: a equipe compreendeu as informações do modelo BIM?

Estudo de caso	Resposta
A	O produto em canteiro ficou padronizado e muito próximo ao modelo BIM. Ao ser questionado, o profissional responsável elogiou o modelo BIM 3D por conta do esclarecimento prestado com a visualização. Entrevista e visita ao local de trabalho realizada em março de 2013
B	Não se aplicou
C	Não se aplicou
D e E	Os profissionais de produção, exceto engenheiros, não tiveram

	contato com os modelos BIM. Porém, mesmo a equipe de engenheiros de produção compreendeu e discutiu a respeito das soluções oriundas do modelo BIM 3D. Entrevista com responsáveis foi realizada em março de 2014.
--	--

Fonte: o autor (2015)

- Considerações:

É preciso levar as informações do projeto e em formato tridimensional, para a mão de obra. Assim, é possível adquirir redução de variabilidade. O modelo BIM não deve ficar em posse apenas da engenharia, mas também da mão de obra que irá produzir. O estudo de caso A comprovou essa opinião.

b) Ação número 2.

- Atividade 05: gerar do modelo 4D, em BIM.

No estudo de caso A, o modelo BIM 4D foi gerado a partir de projetos prontos e planejamento já anteriormente decidido. Os mesmos passos foram seguidos para o estudo de caso B. A figura 32 demonstra os modelos BIM 4D dos estudos A e B. Em ambos os casos já era fase de obra.

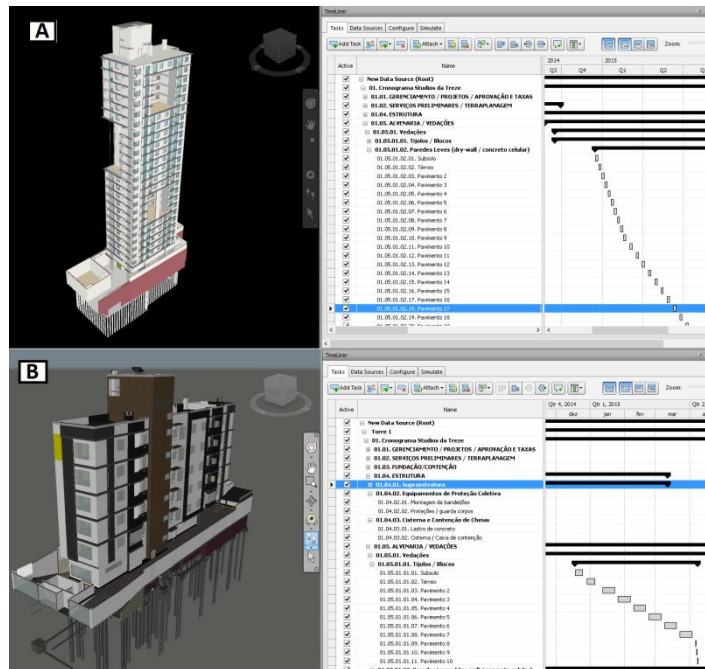
Figura 32 – modelo BIM 4D do estudo de caso (a) A; e (b) B



Fonte: o autor (2015)

Para os estudos D e E, os modelos BIM 4D também foram produzidos de pranchas já elaboradas, porém o planejamento foi desenvolvido através a visualização. Era fase de pré-obra. A figura 33 demonstra os modelos BIM 4D desses estudos.

Figura 33 – modelo BIM 4D do estudo de caso (a) D; e (b) E



Fonte: o autor (2015)

Tabela 9 – questão: há atividades em conflito em um mesmo posto de trabalho?

Estudo de caso	Resposta
A	Essa condição não foi verificada.
B	Essa condição não foi verificada.
C	Não se aplicou.
D e E	O planejamento foi concebido através do modelo BIM 4D, então foi atentado para não haver situações de conflito. Porém, a modelagem auxiliou a tomada de decisão a respeito de sequencia dos pacotes de trabalho pelos pavimentos e áreas para estoques: o engenheiro responsável pela obra optou por não deixar paredes do térreo por fazer, a fim de aproveitar espaço para estoque. Em entrevista realizada, o engenheiro relatou que a visualização 3D facilitou a tomada de decisão. A modelagem e detecção de interferências foi realizada em abril de 2014.

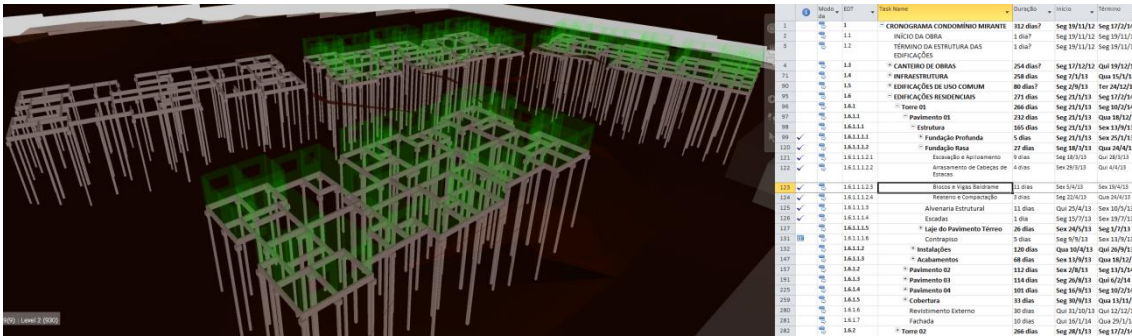
Fonte: o autor (2015)

No estudo de caso A e B, por conta da elaboração de uma linha de balanço, essa preocupação com atividades em um mesmo posto de trabalho já havia sido verificada. O modelo BIM 4D trouxe conflitos de fluxo e sequência produtiva que a linha de balanço se mostrou deficiente em realizar.

- Atividade 06: verificar atividades que não constavam no planejamento anteriormente elaborado.

No estudo de caso A, a atividade de laje do piso do térreo não estava incluída na EAP como pacote de trabalho. A figura 34 demonstra a falta deste pacote de trabalho, pois as paredes estão sendo produzidas sem o piso.

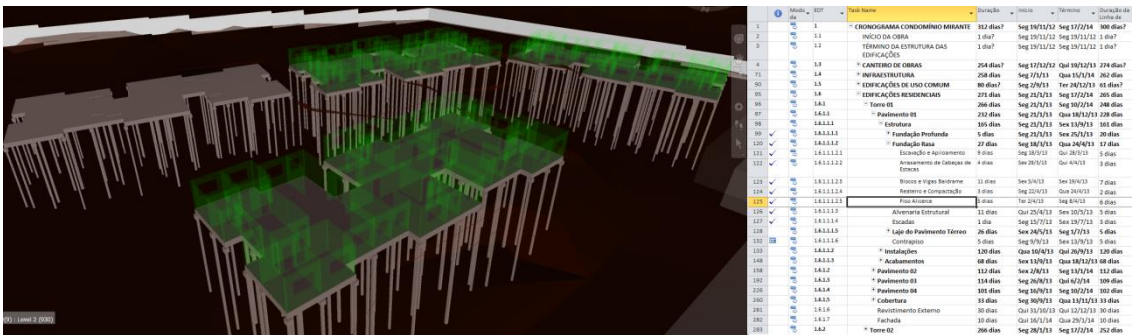
Figura 34 – Estudo de caso A: falta o pacote de trabalho do piso do térreo



Fonte: o autor (2015)

As devidas correções foram realizadas, conforme a figura 35.

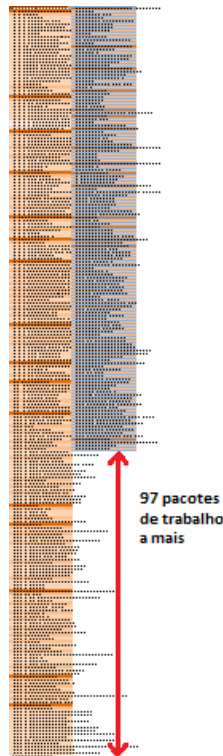
Figura 35 – Estudo de caso A: considerando o pacote de trabalho do piso do térreo



Fonte: o autor (2015)

Para os estudos D e E, antes mesmo da elaboração do modelo BIM 4D, foi realizada uma revisão da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) utilizada pela empresa. Essa revisão foi feita pelos engenheiros da construtora e da gerenciadora. O intuito era poder visualizar todos os pacotes de trabalho no modelo BIM 4D. A EAP utilizada pela empresa possuía 140 pacotes de trabalho. Após a revisão passou a ter 237. A figura 36 demonstra o aumento físico na EAP.

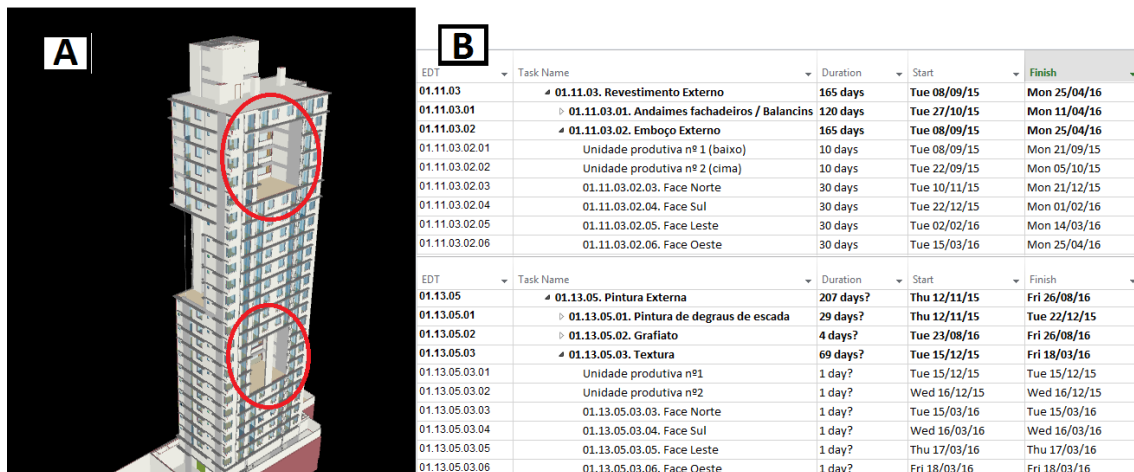
Figura 36 – comparação entre EAP antiga e nova dos estudos D e E



Fonte: o autor (2015)

Especificamente no estudo de caso D, a fachada havia um detalhe. Este detalhe teve decisão da equipe, com apoio ao modelo BIM 4D, de ter sua produção desvinculada da fachada principal. Evitaria problemas no fluxo de produção da fachada, por conta da necessidade de equipamentos específicos para acesso. A figura 37 demonstra o detalhe na fachada e como ficou o planejamento com a criação de uma célula específica de trabalho.

Figura 37 – (a) detalhe de fachada que carecia de tratamento específico; e (b) a unidade específica de produção considerada na EAP do empreendimento.



Fonte: o autor (2015)

Tabela 10 – questão: o modelo BIM 4D evidenciou atividades anteriormente negligenciadas?  
Qual a importância dessas evidências?

Estudo de caso	Resposta
A	Sim. As atividades encontradas foram laje de piso térreo e excesso de terraplanagem. A importância desta evidência foi que a atividade poderia ter suas restrições removidas pelo planejamento <i>Lookahead</i> , além de revisar a EAP instituindo melhoria contínua. A visualização no modelo 4D acusou a ausência do pacote de trabalho. Nenhuma entrevista foi realizada, somente observações ao modelo BIM 4D por conta do pesquisador, em março de 2013.
B	Em situações de planejamento <i>Lookahead</i> sim. Os pacotes de trabalho foram detalhados para o planejamento semanal. O engenheiro de produção citou que não estaria atento a esses pacotes com antecedência, em entrevista realizada no mês de maio de 2014.
C	Não se aplicou
D e E	Com o conhecimento adquirido pelo estudo exploratório, a revisão na EAP foi proposta, isso para que os pacotes de trabalho pudessem ser visualizados no BIM 4D. O engenheiro de produção comentou que esta separação poderia ser possível num momento próximo ao da produção, em entrevista realizada em abril de 2014.

Fonte: o autor (2015)

Para que o modelo BIM 4D seja produzido, é preciso que a empresa tenha uma EAP bem definida. É preciso constar pacotes de trabalho a nível operacional, em nível de planejamento *Lookahead* e semanal, conforme Ballard (2000) cita a explosão em pacotes de trabalho. Essa necessidade vem para ser estudados a sequência produtiva e os fluxos de produção. Por exemplo, nos estudos D e E, havia um pacote de trabalho que não constava na EAP: contra marcos de janelas. Essa atividade gera grande impacto na produção, pois algumas atividades dependem dela. Para que fosse analisada via BIM 4D, foi preciso constar na EAP. Caso contrário, o planejamento mestre ficaria deficitário. Mesmo de acordo com esse relato, o modelo BIM 4D traz a necessidade de criação de outros pacotes de trabalho, conforme o estudo de caso A demonstra.

- Atividade 07: refinar o cronograma estratégico ou operacional, em pelo menos duas atividades.

Os estudos D e E receberam refino na EAP em algumas atividades, por exemplo, relatos na tabela 10:

Tabela 11 – refino de EAP

EAP antiga	EAP nova	Descrição
5.1. Alvenaria	5.1. Vedações 5.1.1. Tijolos/Blocos. 5.1.2. Drywall / Concreto celular. 5.2. Vedações externas. 5.2.1. Muros. 5.2.2. Muros de arrimo	A EAP atual apenas controlava vedações como um todo. O muro de arrimo era vinculado a 4.1 e 4.2.
7.1. Instalações hidráulicas. 7.2. Instalações de esgoto.	7.1. Instalações hidráulicas – distribuição. 7.2. Instalações hidráulicas – prumada. 7.3. Instalações de esgoto – distribuição. 7.4. Instalações de esgoto – prumada. 7.5. Instalações hidráulicas – recalque e reuso. 7.6. Instalações de incêndio.	O mesmo aconteceu com tubulações hidráulicas, onde um único pacote de trabalho representava diversos outros pacotes que eram realizados com recursos diferentes e em momentos diferentes.
10.1. Esquadrias de madeira; 10.2. Esquadrias metálicas. 10.3. Portas e ferragens	10.1. Esquadrias metálicas - Contramarco. 10.2. Esquadrias de madeira; 10.2.1. Portas e ferragens. 10.2.2. Vistas de madeira. 10.3. Portas corta-fogo. 10.4. Esquadrias	A divisão das esquadrias metálicas era fundamental pois atividades de colocação de contramarcos eram realizadas muito tempo antes da colocação final. Vistas de madeira eram realizadas após a colocação das portas, como de costume pela empresa.

	metálicas – Janelas.	
11.5. Emboço externo	11.3. Revestimento externo 11.3.1. Andaimos fachadeiros/ balancins	Consideração da atividade de andaimes como um pacote de trabalho diferente.

Fonte: o autor (2015)

- Atividade 08: avaliar a execução de atividades planejadas através do refino.

Não se aplicou a nenhum dos estudos.

Tabela 12 – questão: alguma das atividades com cronograma refinado, operacionalmente, ocorreu de acordo com o planejado?

Estudo de caso	Resposta
Estudo de caso A	Não se aplicou
Estudo de caso B	Não se aplicou
Estudo de caso C	Não se aplicou
Estudo de caso D e E	Não se aplicou

Fonte: o autor (2015)

Para os estudos A e B, as EAPs empresariais já apresentavam atividades em nível operacional, assim o refino do cronograma não foi necessário. Já nos estudos D e E, a EAP precisou ter seu refino elaborado para consideração no modelo BIM 4D.

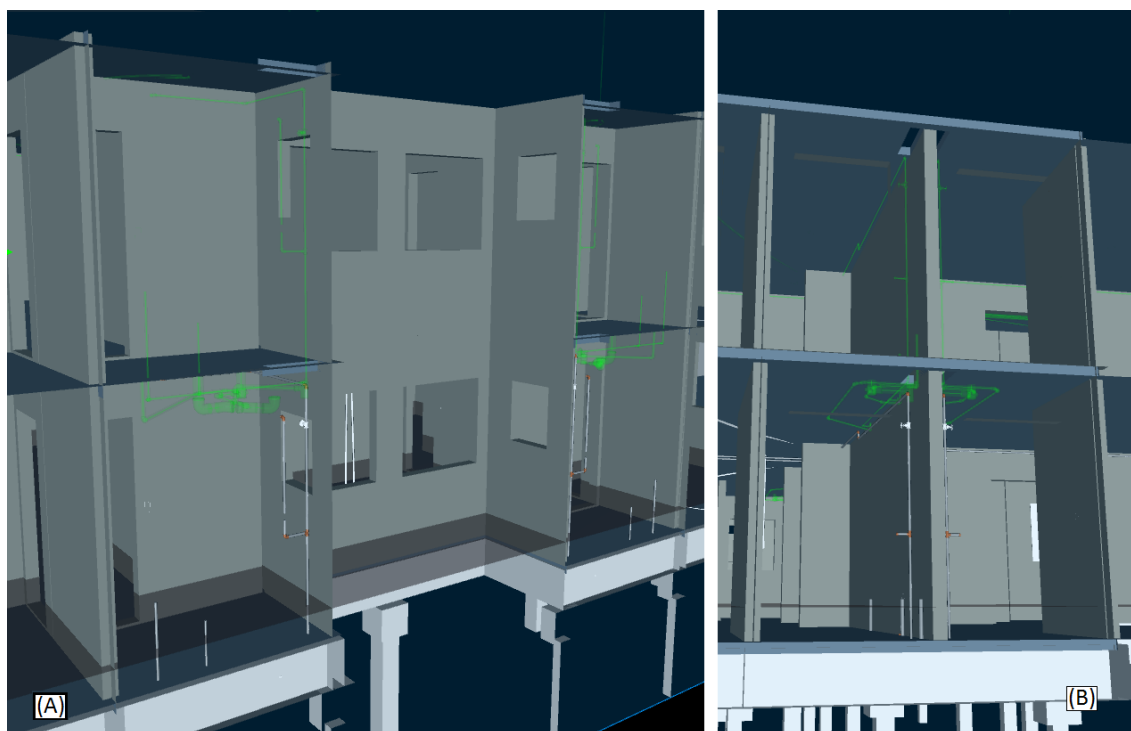
c) Ação número 3:

- Atividade 09: Estudar a atividade no modelo 4D no período do planejamento *Lookahead* validando com a mão de obra.

Duas reuniões de planejamento foram realizadas para o estudo de caso A: uma reunião no dia 18 de fevereiro de 2013 e a outra no dia 04 de março de 2013. O objetivo era revisar o planejamento mestre da produção. Nestas reuniões, participaram o engenheiro de planejamento da gerenciadora, dois engenheiros de produção da construtora e o pesquisador.

No estudo de caso A, foi detectado um mesmo pacote de trabalho sendo produzido em dois locais físicos diferentes, porém, ao mesmo espaço de tempo. A figura 38 demonstra o pacote de trabalho de um mesmo pavimento como sendo instalações de esgoto e instalações de água fria.

Figura 38 – um mesmo pacote de trabalho em locais diferentes.



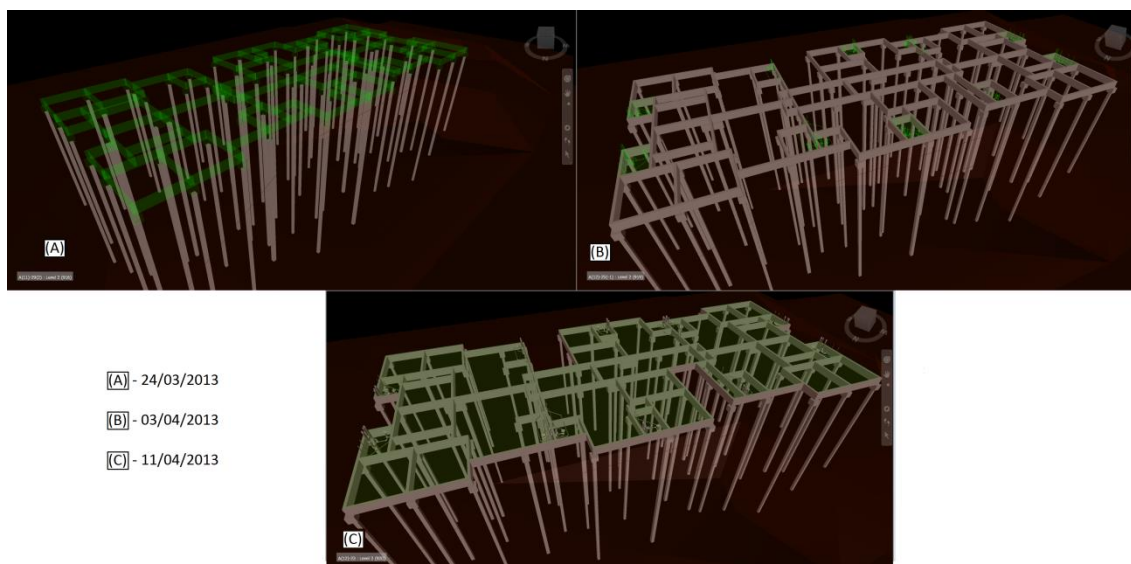
Fonte: o autor (2015)

Para esse caso, duas situações poderiam ocorrer em obra: a mão de obra produzir dois pacotes de trabalho simultâneos (instalações de água fria de um pavimento ao mesmo tempo em que instalações de esgoto do pavimento superior), sendo que isso dificultaria o planejamento e controle e aumentaria o tempo de ciclo dos pacotes de trabalho; ou a mão de obra produzir de acordo com o planejado, exigindo excessivo transporte de pessoal e estoques de material em dois postos de trabalho diferentes. A decisão foi por alterar as informações de planejamento: considerar pacotes de trabalho em um mesmo

pavimento. Uma alteração na EAP foi proposta. Também foi detectada produção da laje do térreo sem instalações que se encontram abaixo desta.

A decisão tomada foi por produzir as instalações antes da laje piso, evitando retrabalhos. A figura 39 demonstra essa questão.

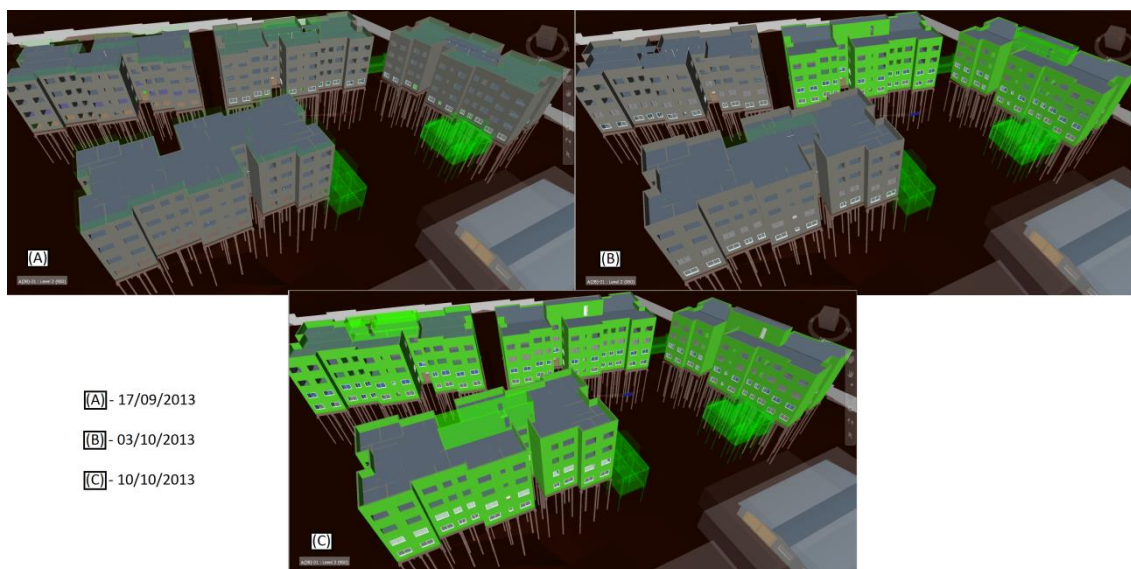
Figura 39 – (a) a produção das vigas baldrame; (b) produção das instalações; e (c) produção da laje piso do térreo.



Fonte: o autor (2015)

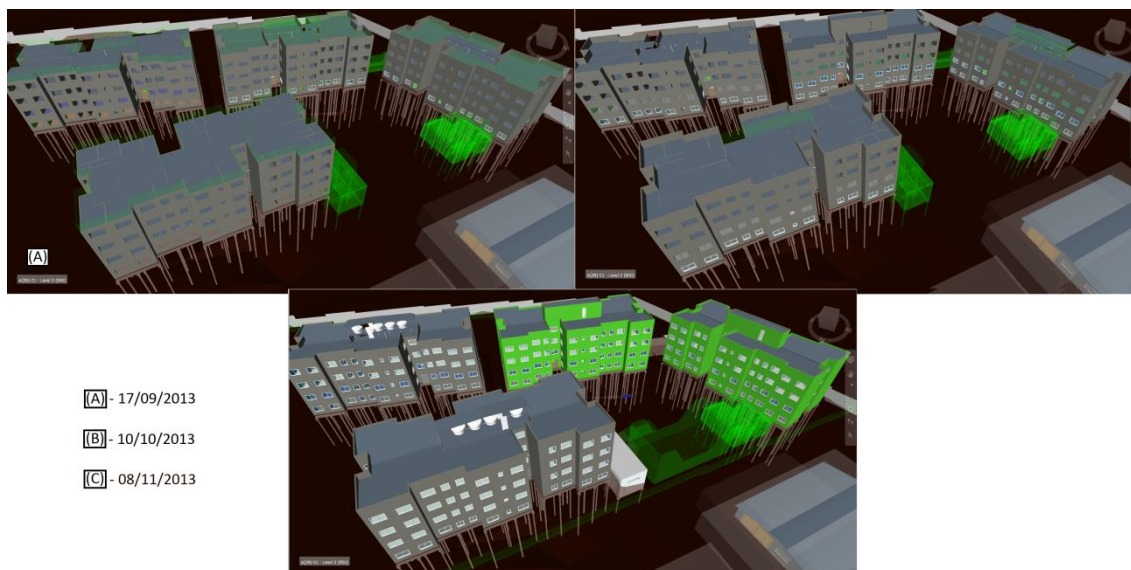
Atividades de revestimento de fachada em argamassa estavam com seu início de produção durante a produção de janelas. De acordo com o engenheiro da construtora, isso poderia gerar problemas no acabamento entre os dois pacotes de trabalho. A figura 40 demonstra a situação detectada via modelo BIM 4D e a figura 41 demonstra a situação já estudada com decisão tomada.

Figura 40 – (a) início da produção das janelas; (b) início da produção dos revestimentos de fachada junto das janelas; e (c) a produção das atividades em paralelo.



Fonte: o autor (2015)

Figura 41 – (a) o início da produção das janelas; (b) continuidade de produção das janelas; e (c) início da produção do revestimento com janelas já finalizadas.



Fonte: o autor (2015)

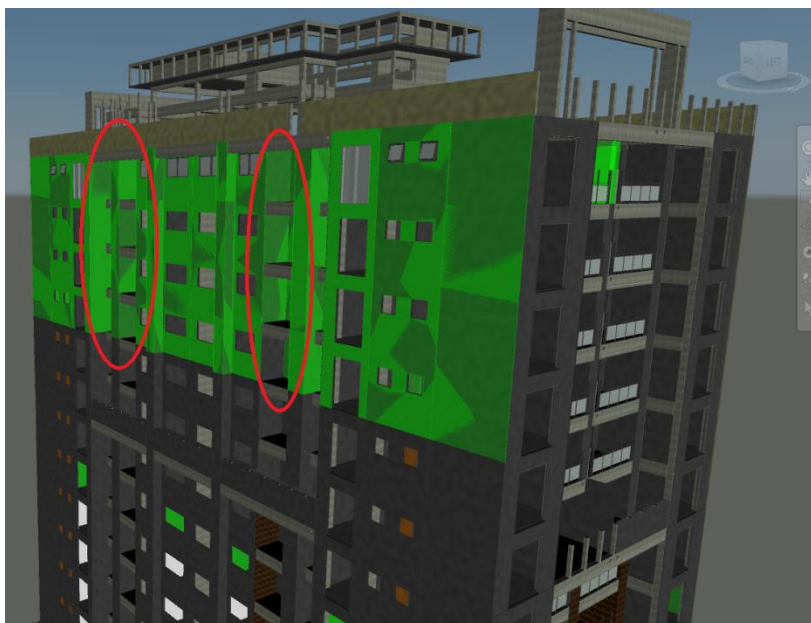
Essa decisão não gerou impacto no prazo final de entrega da obra e trazia a garantia de melhor acabamento entre as duas atividades.

No estudo de caso B, sete reuniões de planejamento Lookahead foram realizadas durante os meses de junho até dezembro de 2014. Nestas reuniões, participavam o engenheiro de produção, o coordenador de obras, o pesquisador e, eventualmente, algum encarregado específico. O planejamento

e as questões a serem discutidas eram trazidos pelo pesquisador. Desta forma, sua atuação foi como engenheiro de planejamento.

Antes de se reunir com a equipe, o pesquisador utilizava o modelo BIM 4D para gerar discussões. Durante estudos do modelo BIM 4D com o planejamento *Lookahead*, foi detectado que a atividade de acabamento em textura de fachada seria produzida em alguns locais sem a presença de pisos cerâmicos, rodapés e forros de gesso em sacadas. Isso, pois estas últimas três atividades tinham sequencia produtiva por pavimento e o acabamento em textura estava por face de fachada. A figura 42 demonstra essa detecção via modelo BIM 4D.

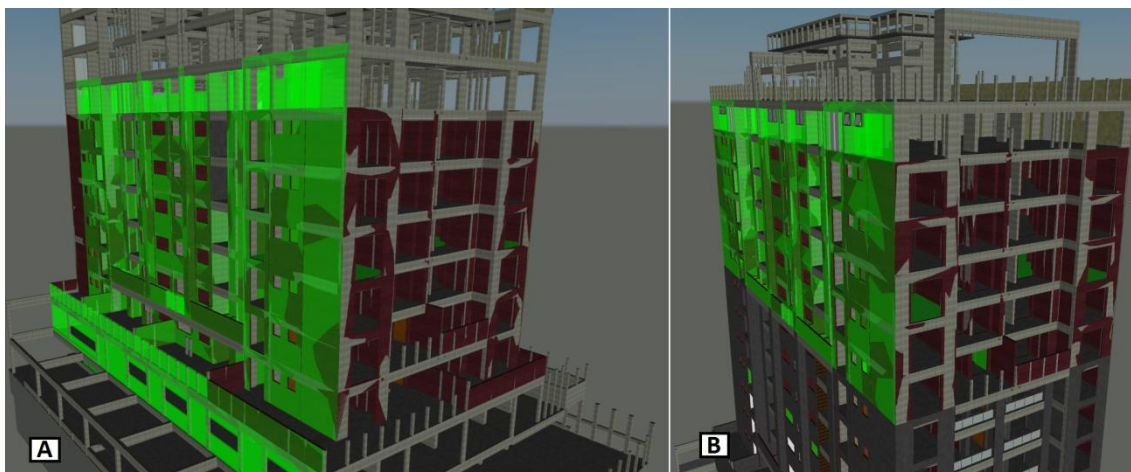
Figura 42 – Locais onde o acabamento em textura de fachada estava sendo produzidas sem atividades antecessoras concluídas (piso e forro)



Fonte: o autor (2015)

A decisão foi por alterar a sequência produtiva de por pavimentos para faces de fachada. Assim as antecessoras puderam ser planejadas em função do acabamento. Além disso, o modelo BIM 4D detectou a inexistência de paredes de alvenaria nos pavimentos Tipo 6 e Tipo 12 quando da produção de revestimento em chapisco de fachada na face norte. A figura 43 demonstra a detecção via modelo BIM.

Figura 43 – (a) pavimento tipo 6 sem alvenaria impedindo produção de chapisco de fachada;  
(b) mesma situação no pavimento tipo 12.



Fonte: o autor (2015)

A decisão da equipe técnica da obra, em reunião de *Lookahead*, foi por dividir a equipe de alvenaria em dois: uma equipe subia para um pavimento acima para produzir apenas as paredes da face norte, ao mesmo tempo em que o restante da equipe produzia o pavimento como um todo. Assim foi possível cumprir o cronograma e iniciar os pacotes de trabalho de fachada.

Ainda no estudo de caso B, as atividades de revestimento de fachada com argamassa estavam sendo produzidas diante de apartamentos com massa corrida concluída. Segundo o engenheiro de produção, isso poderia interferir no acabamento do segundo pacote de trabalho. Para evitar isso a sequência produtiva da massa corrida foi somente no planejamento *Lookahead*, estabelecida por fachada. Assim, a face na qual o revestimento em argamassa já tivesse sido produzido, a massa corrida poderia ser iniciada. A figura 44 demonstra a visualização da interferência no modelo BIM 4D.

Figura 44 – apartamentos com massa corrida produzida e revestimento de fachada sendo produzido



Fonte: o autor (2015)

As detecções realizadas diante do modelo BIM 4D foram trazidas para discussão pelo pesquisador. A visualização era disponibilizada para a equipe técnica do empreendimento.

Tabela 13 – questão: a equipe compreendeu a utilização do BIM para refino operacional?

Estudo de caso	Resposta
A	As detecções foram trazidas em reunião pelo pesquisador. O contato do modelo BIM 4D com a equipe não deixou claro a ocorrência. Foi necessário que o pesquisador explicasse o objetivo da detecção de interferência. Após isso, a equipe compreendeu e realizou discussões preditivas a respeito: o impacto da interferência e como remediar com antecedência. As reuniões foram realizadas em março de 2013.
B	As detecções eram visualizadas pelo pesquisador, selecionadas e disponibilizadas para a equipe de obra em reuniões de <i>Lookahead</i> . Nessas reuniões, a visualização tinha pouca importância para a

	equipe de obra. As discussões geradas a partir disso eram mais ricas e interessavam mais o engenheiro de produção.
C	Não se aplicou, pois o modelo BIM 4D não foi utilizado para planejamento.
D e E	Não se aplicou, pois apenas na fase de pré-obra o pesquisador participou.

Fonte: o autor (2015)

A equipe técnica precisa ser preparada para o contato com o modelo BIM. É preciso explicar a utilidade e o porquê de estar sendo utilizado. Nos estudos A e B, as equipes pouco se importaram com a visualização e a ferramenta em si. A preocupação maior foi com as discussões geradas e trazidas após o contato do pesquisador com o modelo BIM. Isso demonstrou possibilidade de agregar qualidade na discussão. É preciso que engenheiros de produção não somente conheçam as possibilidades do modelo BIM 4D, como também busquem usufruir dessa ferramenta, mesmo que não a operem.

- Atividade 10: Preparar o início da atividade de acordo com o BIM 4D.

No estudo de caso B, o planejamento *Lookahead* era revisado com auxílio do modelo BIM 4D. O controle foi realizado, através do Sistema *Last Planner* e as figuras 45, 46 e 47 demonstram o previsto e realizado. Porém, não havia consideração sistemática de restrições que permitisse um controle de preparação adequado para os pacotes de trabalho.

Tabela 14 – questão: A atividade foi seguida de acordo com o BIM 4D, em termos de preparação e produção?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou
B	Não houve controle sistemático de restrições antes do início dos pacotes de trabalho. Porém, com advento dos status de produção, pacotes de trabalho recebiam status de “com restrição”. Assim, o pesquisador na posição de engenheiro de planejamento, disseminava a informação e cobrava remoção de restrições para os

	pacotes de trabalho. Nenhum entrevista foi realizada, somente observações diretas e participantes.
C	Não se aplicou
D e E	Não se aplicou

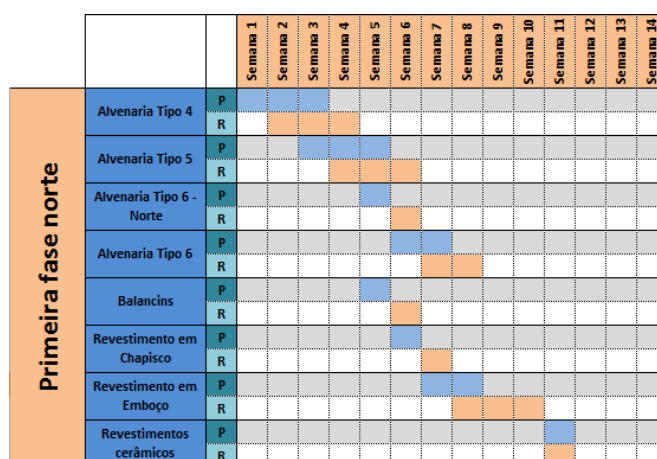
Fonte: o autor (2015)

O modelo BIM pode ser utilizado para gerir pacotes de trabalho durante o *Lookahead*. Há necessidade de se estabelecer o sistema *Last Planner* com uma consideração sistemática de restrições. Os status de tempo de ciclo, relatados na figura 49, podem ser utilizados para este controle, porém eles não fornecem informações do andamento das restrições (como é fornecido através do sistema KanBIM de Sacks *et al.*, 2013). Há a necessidade da utilização de um banco de dados integrado ao modelo BIM, para trazer informações mais precisas.

- Atividade 11: Durante a execução, verificar o andamento e seu tempo de ciclo.

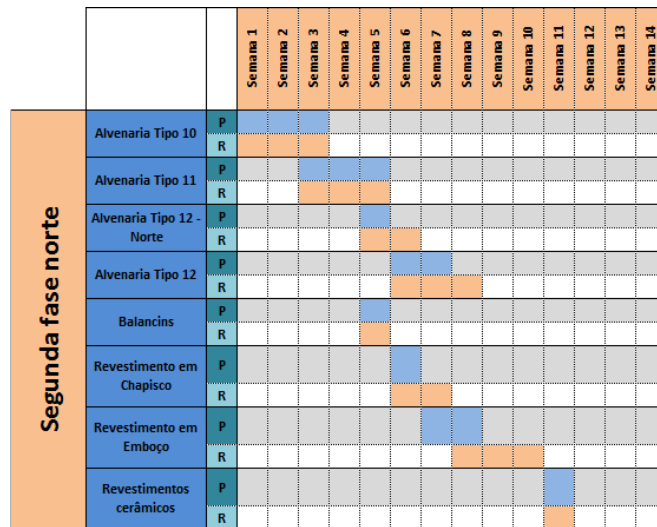
No estudo de caso B, através do sistema *Last Planner*, foi possível obter dados para se comparar o previsto com o realizado. As figuras 45, 46 e 47 demonstram essa comparação.

Figura 45 – prevista e realizada das atividades da “primeira fase norte” desde a alvenaria



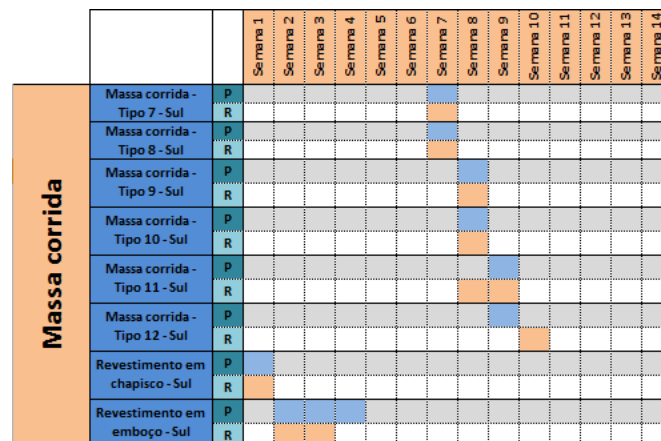
Fonte: o autor (2015)

Figura 46 – prevista e realizada das atividades da “segunda fase norte”



Fonte: o autor (2015)

Figura 47 – prevista e realizada da atividade de massa corrida agora por fachada e o revestimento de fachada em argamassa



Fonte: o autor (2015)

- Atividade 12: Validar os benefícios da utilização do BIM para geração de informações e redução do tempo de ciclo.

No estudo de caso A, a decisão por produzir instalações em um mesmo local de trabalho pôde reduzir o tempo de ciclo por duas situações (conforme figura 47): a primeira foi se a mão de obra produzisse dois pacotes de trabalho em um mesmo posto, pois o tempo de ciclo desses dois pacotes de trabalho (água fria do pavimento em que o operário se encontra e esgotos do pavimento

superior) aumentaria e se sobreporiam. A outra situação é se a mão de obra precisasse se locomover entre dois pavimentos. Isso geraria tempo desnecessário despendido para esse transporte, podendo gerar aumento no tempo de ciclo. O caso do revestimento de fachada em argamassa interferindo a colocação de janelas (conforme figura 47) poderia aumentar o tempo de ciclo por conta de retrabalhos na interface entre os dois pacotes de trabalho. Essas informações foram extraídas através de entrevistas semiestruturadas com os engenheiros de produção.

No estudo de caso B, a inexistência de alvenaria na face norte dos pavimentos Tipo 6 e 12 geraria atraso no início das atividades de fachada (conforme figura 47). Isso poderia culminar num incremento no prazo de obra. Os pacotes de trabalho de massa corrida que tivessem problemas com revestimento de fachada em emboço sofreriam constantes retrabalhos, aumentando assim seu tempo de ciclo. O mesmo ocorreria com os pacotes de trabalho de acabamento em textura, ao sofrerem com a produção tardia de suas atividades antecessoras. Como no estudo de caso A, essas informações foram extraídas de reuniões em obra e entrevistas semiestruturadas.

Tabela 15 – questão: O tempo de ciclo foi de acordo com o previsto?

Estudo de caso	Resposta
Estudo de caso A	Não se aplicou, pois tempos de ciclo não foram avaliados.
Estudo de caso B	Sim, através de análise documental foi possível verificar (conforme figuras 45, 46 e 47)
Estudo de caso C	Não se aplicou, pois tempos de ciclo não foram avaliados.
Estudo de caso D e E	Não se aplicou, pois tempos de ciclo não foram avaliados.

Fonte: o autor (2015)

A utilização do modelo BIM 4D em reuniões de planejamento, proporcionou discussões preditivas sobre os fluxos de produção. Fluxos estes que relacionam espaços para estocagem, transporte e espera; ordem de produção de pacotes de trabalho (evitando ao máximo interferências)

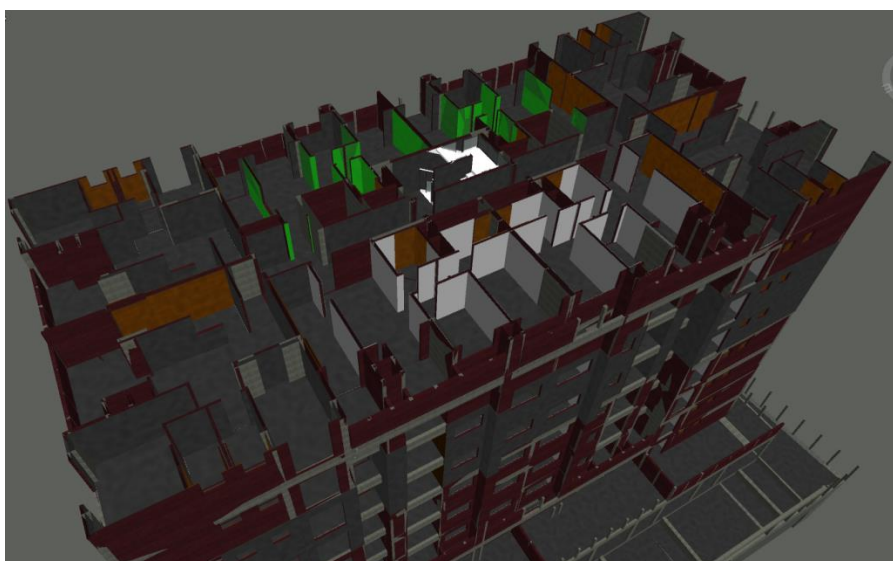
d) Ação de número 4:

- Atividade 13: Realizar propostas de replanejamento visual no BIM com posterior tomada de decisão.

No estudo de caso A, a figura 34 e 35 demonstram replanejamento visual e sua tomada de decisão.

No estudo de caso B, a figura 48 demonstra uma proposta de replanejamento da massa corrida com sequencia por face. A necessidade de tomada de decisão foi detectada pelo pesquisador em uma reunião de *Lookahead*. A decisão foi tomada pelo coordenador de obras juntamente com o engenheiro de produção.

Figura 48 – modelo BIM 4D com massa corrida por faces



Fonte: o autor (2015)

Tabela 16 – questão: Em situação de replanejamento, o BIM auxiliou na tomada de decisão?

Estudo de caso	Resposta
A	Sim. A detecção realizada pelo pesquisador foi claramente entendida e pode ser explicada aos engenheiros tomadores de decisão. Durante esta reunião, o modelo BIM 4D gerou discussão entre a equipe presente dos impactos da decisão tomada. Ilustrado na figura 34 e 35.
B	Sim. A detecção realizada pelo pesquisador foi claramente entendida

	e pode ser explicada aos engenheiros tomadores de decisão. As discussões realizadas em reunião foram diante da situação ilustrada pelo modelo BIM 4D (figura 48). Isso ocorreu em uma reunião de <i>Lookahead</i> , no dia 11/09/2014, envolvendo pesquisador, engenheiro de produção e coordenador de obras.
C	Não se aplicou, pois o modelo BIM 4D não foi utilizado para planejamento.
D e E	Não se aplicou, pois o pesquisador apenas acompanhou a etapa de pré-obra.

Fonte: o autor (2015)

No estudo de caso B o replanejamento foi realizado no horizonte do *Lookahead*, sendo que a lógica produtiva daquele empreendimento já estava entendida por toda a equipe. No estudo de caso B, a equipe realizou reuniões de Last Planner por todo o ano de 2014, assim, um entrosamento foi verificado. Por conta disso, o modelo BIM 4D teve aceitação maior do que no estudo de caso A (conforme dito anteriormente, onde foi necessário explicar aos participantes a importância do modelo BIM 4D). O planejamento foi sendo detalhado a medida em que a produção chegava perto de ser iniciada.

- Atividade 14: Compatibilizar com o planejamento *Lookahead*.

No estudo de caso B, o modelo BIM 4D era visualizado pelo pesquisador e, questões julgadas relevantes, eram discutidas uma vez ao mês, na reunião de *Lookahead*. Chegando próximo a saída do pesquisador deste estudo de caso, o *Lookahead* passou a ser discutido semanalmente, assim como o modelo BIM 4D. Muitas questões sobre produção e fluxo eram levantadas para ser discutidas com a equipe do empreendimento. Sem compatibilizado com o *Lookahead*.

Tabela 17 – questão: Com a validação do novo planejamento, as informações foram repassadas à equipe de produção atingida?

Estudo de caso	Resposta
A	Sim, via planejamento mestre de obra e linha de balanço.
B	Sim, constantemente com auxílio do sistema <i>Last Planner</i> .
C	Não se aplicou.
D e E	Não se aplicou.

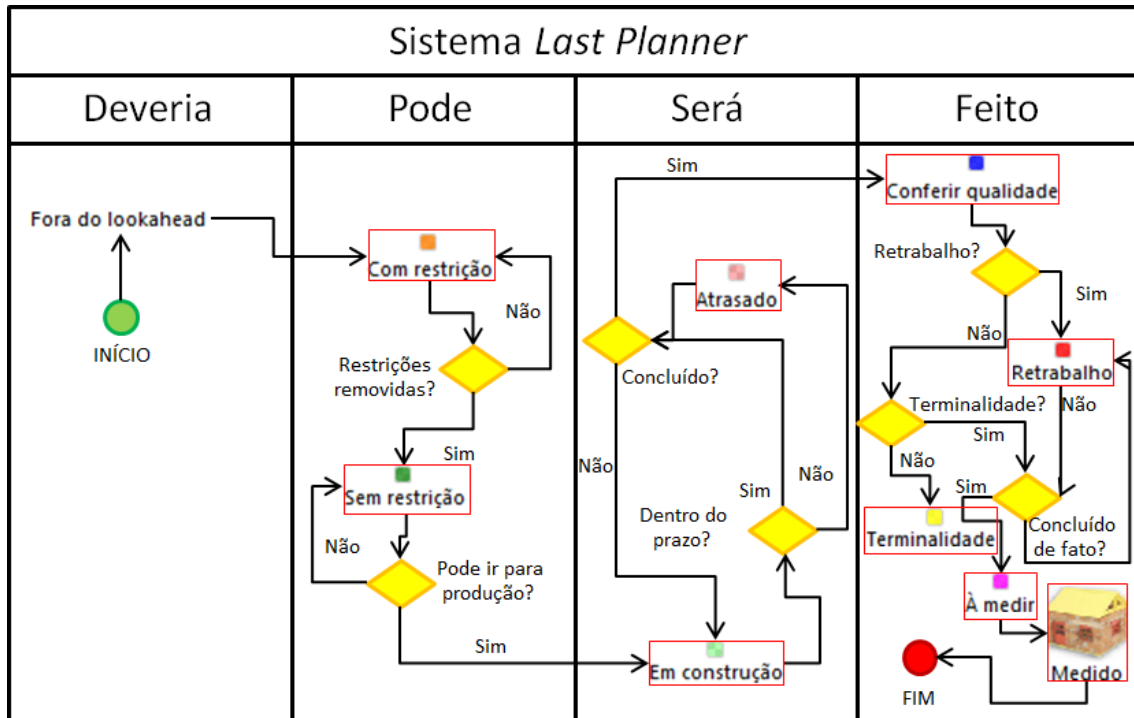
Fonte: o autor (2015)

O ambiente de gestão gerado pelo modelo BIM em conjunto com o sistema *Last Planner*, proporcionada visualização de previsão da produção. Porém, era de extrema importância envolver a mão de obra nas discussões. A ordem de trabalho era a seguinte: primeiro o pesquisador observava o andamento da produção, depois recorria ao modelo BIM 4D para visualizar situações futuras. Isso gerava questões a serem discutidas. Assim, era discutido com o engenheiro de produção da obra. Algumas vezes, era conveniente colocar o engenheiro em contato com o modelo BIM. Decisões eram tomadas, porém, algumas necessitavam de uma confirmação com a mão de obra. Outro encontro envolvendo encarregado de produção engenheiro e pesquisador era realizado.

e) Ação de número 5.

Para que o controle de produção pudesse ser realizado, foram listadas algumas situações nas quais cada pacote de trabalho poderia passar durante seu tempo de ciclo. Essas situações foram chamadas de status de produção. Os status foram produzidos com base em bibliografia específica e discussões com a equipe de produção dos estudos B e C. A figura 49 demonstra o processo para classificação de cada pacote de trabalho por status.

Figura 49 – status de produção durante o tempo de ciclo de um pacote de trabalho



Fonte: o autor (2015)

As cores eram atribuídas aos pacotes de trabalho no modelo BIM. Assim foi possível controlar a produção dia a dia no canteiro de obras.

Os pacotes de trabalho estão distribuídos temporalmente no planejamento mestre da construção. Ao serem puxados ao Lookahead (pacotes que podem ser feitos), têm suas restrições identificadas e anotadas em um documento intitulado Planilha de Restrições. O pacote assume status de “Com restrição”. Um planejamento a parte era elaborado para remover as restrições deste determinado pacote de trabalho. Em suas visitas à construção, o pesquisador cobrava da equipe produtiva a situação de cada restrição. Quando um pacote de trabalho tinha todas as restrições removidas, assumia outro status (“Sem restrição”), informando que aquele pacote estava pronto para produção. Se fosse o momento planejado para um pacote sem restrições entrar em produção, era programado na reunião de planejamento semanal, assumindo status “Em construção”, informando que seria produzido.

Durante o período semanal, o pacote de trabalho tinha prazo para iniciar e terminar. Se por ventura não iniciasse ou terminasse neste prazo, assumia status “Atrasado”. Logo que concluído, o pacote assumia status “Conferir qualidade”, indicando a demanda ao responsável por tal tarefa. Se, após a

conferência de qualidade, fosse necessário retrabalho, o status do pacote se alterava para “Retrabalho”. Poderia ocorrer a situação de o pacote estar de acordo com o padrão de qualidade especificado pela organização, porém apresentar falta de terminalidade. Neste caso, assumia o status “Terminalidade”. Assim a mão de obra deveria ser orientada a cumprir essa demanda, seja por retrabalho ou falta de terminalidade. Diante da conclusão, novamente o responsável pela liberação de um pacote de trabalho verificava a produção. Se a conclusão estivesse de acordo, o pacote poderia ser pago ao empreiteiro, assumindo assim o status “A medir”.

Periodicamente, a engenharia da obra realizava medições aos empreiteiros. Então era levantado no modelo BIM, quais pacotes de trabalho estavam com status “A medir”. Eram todos pagos e o quantitativo de produção retirado automaticamente via modelo BIM. Depois de pagos, os pacotes assumiam status de “Medido”, onde sua aparência no modelo BIM era a do próprio modelo.

Diante dessa sistemática adaptada ao modelo BIM, foi determinado como tempo de ciclo de cada pacote de trabalho desde o status “Com restrição” até o status “A medir”.

- Atividade 15: Introdução do BIM no PCP e na reunião semanal de *Last Planner*.

No estudo de caso B, o modelo BIM 4D foi utilizado no planejamento *Lookahead* para visualizar o futuro da produção. Na reunião de planejamento semanal, os pacotes de trabalho que estavam com status “Sem restrição” recebiam status de “Em construção”. Isso queria dizer que já estavam no plano semanal. Ao saírem do planejamento semanal, os pacotes de trabalho percorriam os status relatados na figura 49.

No estudo de caso C, o modelo BIM foi utilizado para gerir pacotes de trabalho com falta de terminalidade. Durante o mês de agosto de 2014, foi realizado um levantamento de pacotes de trabalho com falta de terminalidade

na obra. Com esses dados foi elaborado um banco de dados, apresentado na figura 50.

Figura 50 – banco de dados de falta de terminalidade no *Microsoft Sharepoint*

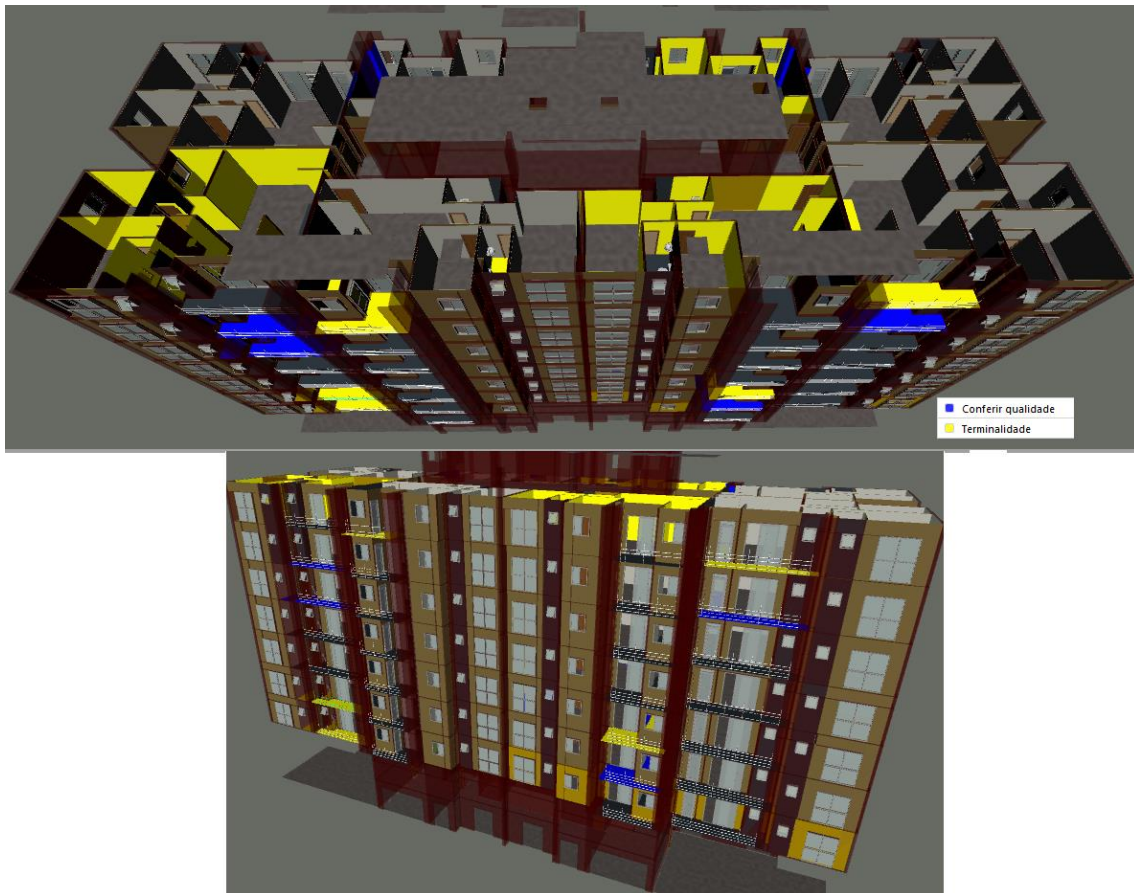
The screenshot shows a SharePoint list titled 'Torre 4'. The interface includes a search bar and a 'Localizar um item' button. The table is divided into two main sections: 'Pacotes de trabalho' and 'Gestão de terminalidade'.

Pacotes de trabalho								Gestão de terminalidade					
EAP	Torre	Serviço	Pavimento	Apartamento	Restrições?	Descreva a restrição	Semana CP	Concluído?	Terminalidade?	Descreva a falta de terminalidade 1	Descreva a falta de terminalidade 2	Descreva a falta de terminalidade 3	
4.2.1.2.4.1.1	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 1	Não	Sem Título	...	-	Sim	Não	Falta colocação da janela do Q1		
4.2.1.2.4.1.2	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 2	Não	Sem Título	...	-	Sim	Não	Sem janela no quarto Suite e no bwc social		
4.2.1.2.4.1.3	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 3	Não	Sem Título	...	-	Sim	Não	Falta colocar porta janela sala	Faltam duas folhas na janela da Suite	Falta janela Quarto 1
4.2.1.2.4.1.4	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 4	Não	Sem Título	...	-	Sim	Não	Falta porta giratória		
4.2.1.2.4.1.5	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 5	Não	Sem Título	...	-	Sim	Sim			
4.2.1.2.4.1.6	Torre 4	P. e Jan. de Alum.	8º Pavimento	Final 6	Não	Sem Título	...	-	Sim	Não	Falta porta-giratória cozinha	Falta porta-janela sala	Falta janela suite

Fonte: o autor (2015)

Em paralelo ao planejamento e controle da produção (via Sistema *Last Planner*), a falta de terminalidade era gerenciada. Até mesmo uma equipe específica foi designada para tal fim. O modelo BIM trazia um resumo dos pacotes de trabalho e seus status, porém, apenas “terminalidade” e “conferir qualidade” para pacotes concluídos no horizonte semanal. Um exemplo está na figura 51.

Figura 51 – gestão de terminalidade e qualidade através do modelo BIM



Fonte: o autor (2015)

A questão de terminalidade era discutida no planejamento *Lookahead* e tinha programação no plano semanal. Durante o dia a dia de trabalho, os mestres de obra percorriam os locais de trabalho com uma cópia do banco de dados em mãos. Quando solicitavam, tinham acesso ao modelo BIM para ver quais locais apresentavam tais problemas. O status “conferir qualidade” era indicado diretamente ao técnico de edificações, que também acessava o modelo BIM para ter essa informação. A figura 52 traz uma planilha semanal com problemas com terminalidade como tarefas.

Figura 52 – planilha do plano semanal: detalhe nas primeiras tarefas chamadas “check list”, um linguajar adota na obra.

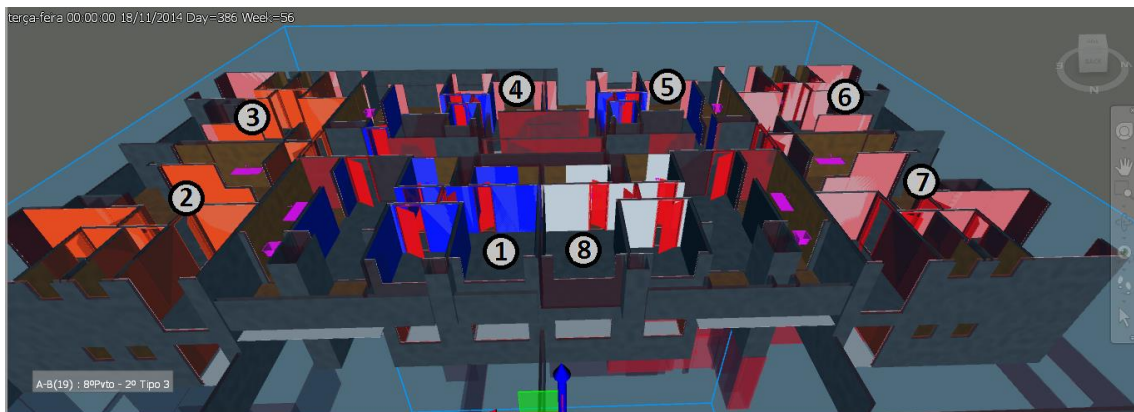
TORRE 4 - PLANEJAMENTO OPERACIONAL SEMANA 41												PPC 0%		T L		Atualizar	
Empreendimento E				Filtro								Previsto		Realizado		Motivos	
STATU	TAREFAS	SERVIÇO	APTO	PAVIMENTO	CO NC	TE RM	QU ALI	INS ER	SE MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA	MOTIVOS	
	Check list final - janelas e porta janelas	Portas e Janelas de Alum. (C/Vidros)	-	8ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 8	Int. Com Cerâmicas / Pedras	Final 6	8ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 7	Int. Com Cerâmicas / Pedras	-	7ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 8	MASSA CORRIDA E PINTURA INT. (1ª Demão)	-	8ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 6	MASSA CORRIDA E PINTURA INT. (1ª Demão)	-	6ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 6	Int. Com Cerâmicas / Pedras	-	6ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 7	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	7ª Pavto					41	41						-	
	CHECK LIST FINAL - 8ª	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	8ª Pavto					41	41						-	
	Vistas das portas do 8ª	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	8ª Pavto					41	41						-	
	Vistas das portas do 7ª	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	7ª Pavto					41	41						-	
	Pintura do térreo - 30% das paredes	PINTURA INTERNA (2ª e 3ª Demão)	-	Térreo					41	41						-	
	Pintura do térreo - 100% dos tetos	PINTURA INTERNA (2ª e 3ª Demão)	-	Térreo					41	41						Tarefas Anteriores	
	Esquadrias do térreo - SEM VIDRO	Portas e Janelas de Alum. (C/Vidros)	-	Térreo					41	41						Tarefas Anteriores	
	Forros de gesso do térreo - finalizar 100%	Com Gesso / Sintéticos	-	Térreo					41	41						-	

Fonte: o autor (2015)

- Atividade 16: Controle semanal das atividades de produção.

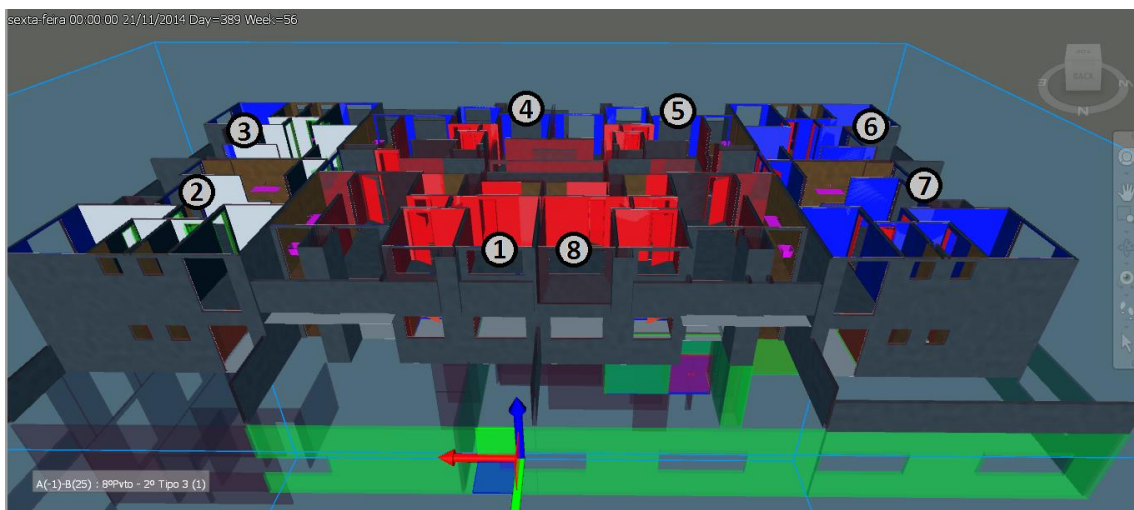
No estudo de caso B, o controle do tempo de ciclo foi realizado a cada dois dias. Em suas visitas, o pesquisador utilizava o modelo BIM para verificar o andamento da produção com base em status. As figuras 53, 54, 55, 56 e 57 demonstram o pavimento Tipo 1 e sua evolução em um período de 14 de novembro de 2014 até 4 de novembro de 2014.

Figura 53 – pavimento Tipo 1 no dia 14/11/14



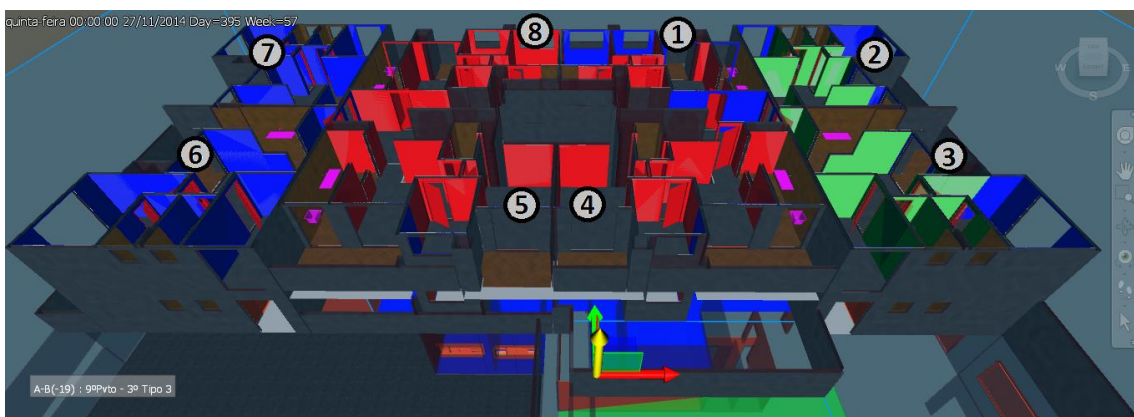
Fonte: o autor (2015)

Figura 54 – pavimento Tipo 1 no dia 21/11/14



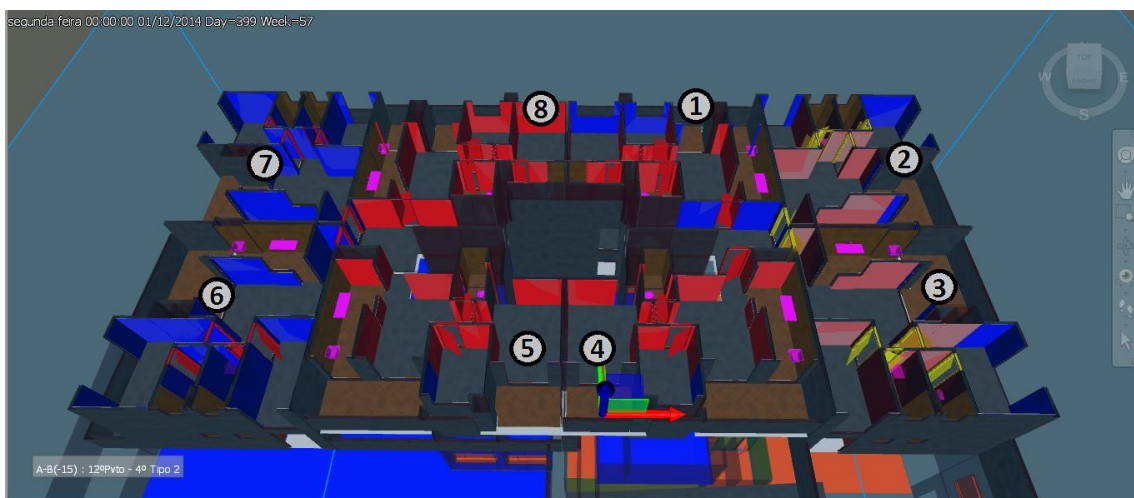
Fonte: o autor (2015)

Figura 55 – pavimento Tipo 1 no dia 27/11/14



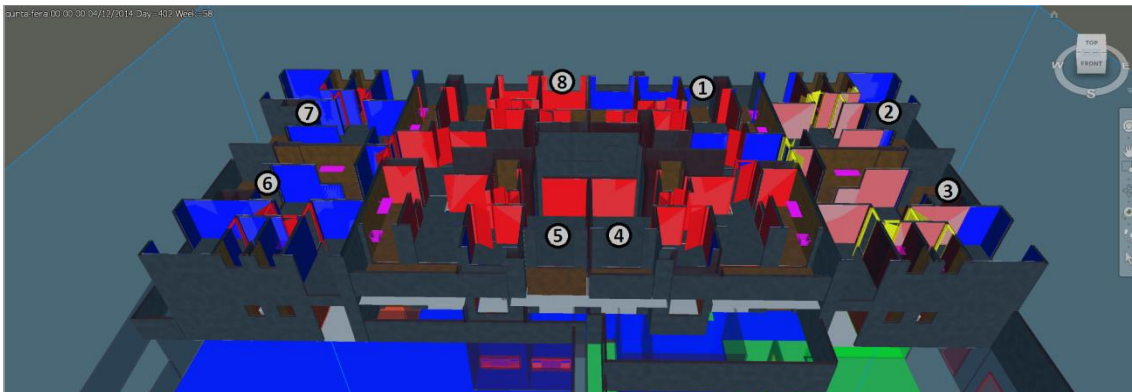
Fonte: o autor (2015)

Figura 56 – pavimento Tipo 1 no dia 01/12/14



Fonte: o autor (2015)

Figura 57 – pavimento Tipo 1 no dia 04/12/14



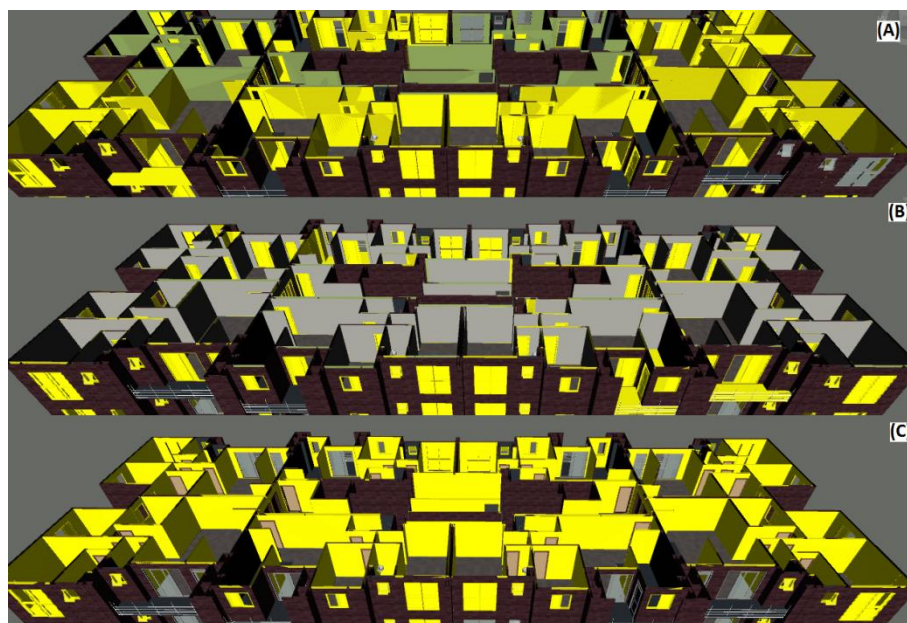
Fonte: o autor (2015)

Através das imagens, é possível ter controle do tempo de ciclo dos pacotes de trabalho. Por exemplo, em 14/11, as portas nos apartamentos 2 e 3 apresentavam restrições. Em 21/11 já estavam em produção. Como não foram concluídas de acordo com o planejamento, em 27/01 se encontravam em atraso de conclusão. Nos dias 01 e 04 de dezembro, após conferência, foram detectadas com falta de terminalidade. O tempo de ciclo deste pacote de trabalho já apresentava 14 dias úteis. A equipe estava consciente e trabalhando para a redução do tempo de ciclo.

Frequentemente as portas recebiam status de necessidade de retrabalho. Isso porque o empreiteiro não realizava um procedimento final nas maçanetas que era necessário para a conclusão final. A carga de retrabalho se tornou de tal maneira que a engenheira da obra combinou com o empreiteiro que ele poderia continuar sua produção, porém, se comprometeria em realizar o procedimento ao término de sua atividade.

No estudo de caso C, os mestres de obra percorriam as torres para assistir a produção e garantir que pacotes com falta de terminalidade fossem concluídos.

Figura 58 – (A) 8º pavimento; (B) 7º Pavimento; e (C) 6º Pavimento todos da torre 4 no início da semana 41 de 2014.



Fonte: o autor (2015)

É possível reparar tanto na programação quando nas imagens do modelo BIM as atividades que encontravam problemas com terminalidade. Por exemplo, no 8º pavimento, dos oito apartamentos, seis apresentavam problemas com terminalidade no pacote de trabalho de massa corrida; também alguns pisos de sacada e azulejos de banheiros e cozinha apresentavam problemas de terminalidade. Já no 7º pavimento, os pacotes de trabalho de massa corrida não apresentavam problemas, porém, portas de madeira em todos os apartamentos apresentavam problemas. Nesta torre 4, muitas janelas apresentavam problemas de falta de terminalidade.

Ao término da semana, o PPC foi de 64%, conforme demonstrado na figura 59.

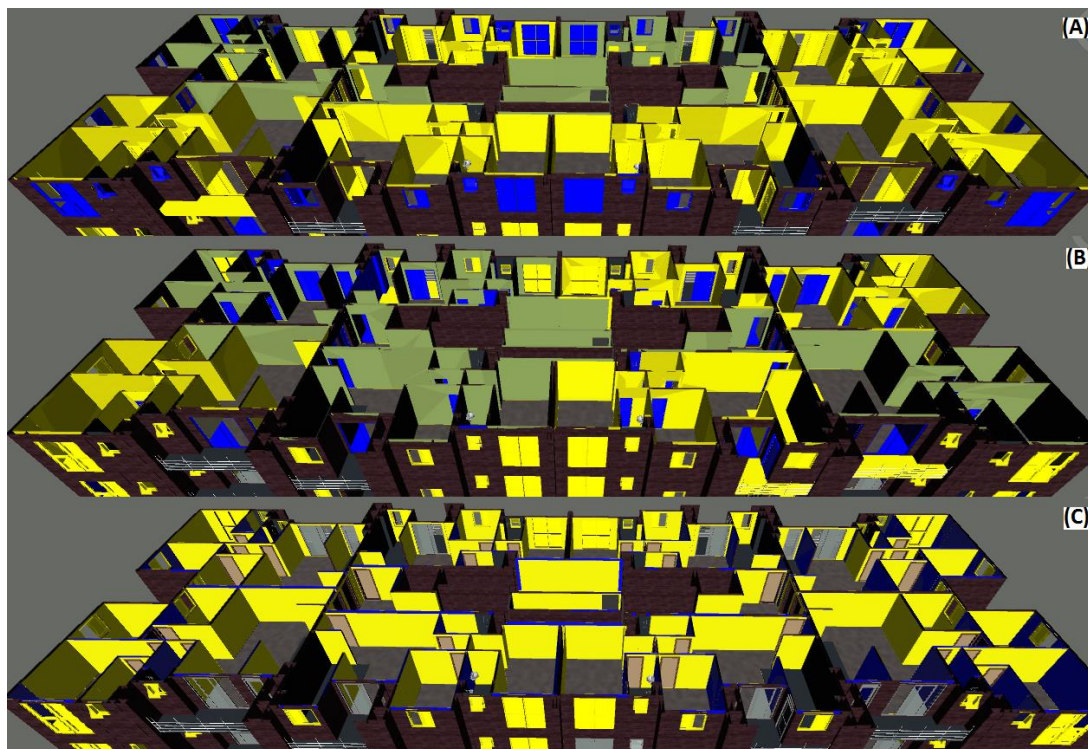
Figura 59 – Resultado da semana 41 na torre 4.

TORRE 4 - PLANEJAMENTO OPERACIONAL SEMANA 41												T	L	Atualizar	
Obra:	Empreendimento E				PPC		64%								
filtrado por:					Filtro										
STATUS	TAREFAS	SERVIÇO	APTO	PAVIMENTO	CO LUB	TE IM	QU DA	INS CA	SE MA	Previsto	Realizado	Motivos	MOTIVOS		
	Check list final - janelas e porta janelas	Portas e Janelas de Alum. (C/Vidros)	-	8º Pavto				41	41						
	CHECK LIST FINAL - 8	Int. Com Cerâmicas / Pedras	Final 6	8º Pavto				41	41						
	CHECK LIST FINAL - 7	Int. Com Cerâmicas / Pedras	-	7º Pavto				41	41						
	CHECK LIST FINAL - 8	MASSA CORRIDA E PINTURA INT. (1a Demão)	-	8º Pavto				41	41				Tarefas Anteriores		
	CHECK LIST FINAL - 6	MASSA CORRIDA E PINTURA INT. (1a Demão)	-	6º Pavto				41	41						
	CHECK LIST FINAL - 6	Int. Com Cerâmicas / Pedras	-	6º Pavto				41	41				Programação		
	CHECK LIST FINAL - 7	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	7º Pavto				41	41						
	CHECK LIST FINAL - 8º	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	8º Pavto				41	41				Programação		
	Vistas das portas do 8º	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	8º Pavto				41	41						
	Vistas das portas do 7º	Caixilhos de Mad. / Portas de Mad.	-	7º Pavto				41	41						
	Pintura do térreo - 30% das paredes	PINTURA INTERNA (2a e 3a Demão)	-	Térreo				41	41						
	Pintura do térreo - 100% dos tetos	PINTURA INTERNA (2a e 3a Demão)	-	Térreo				41	41				Tarefas Anteriores		
	Esquadrias do térreo - SEM VIDRO	Portas e Janelas de Alum. (C/Vidros)	-	Térreo				41	41				Tarefas Anteriores		
	Forros de gesso do térreo - finalizar 100%	Com Gesso / Sintéticos	-	Térreo				41	41						

Fonte: o autor (2015)

Das tarefas não concluídas, os problemas foram principalmente programação, por estimar muito trabalho para uma equipe reduzida, e tarefas anteriores que não haviam sido realizadas. Como resultado, o modelo BIM ficou da seguinte forma, nos três pavimentos, conforme a figura 60.

Figura 60 – (A) 8º pavimento; (B) 7º Pavimento; e (C) 6º Pavimento todos da torre 4 ao término da semana 41 de 2014.



Fonte: o autor (2015)

Tabela 18 – questão: O modelo BIM auxiliou na verificação de atividades em processo?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou.
B	Sim. Era possível ter um diagnóstico de todos os pacotes de trabalho de acordo com seu status do tempo de ciclo.
C	Sim. Era possível saber a real situação em termos de terminalidade e pacotes em produção.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: o autor (2015)

A partir da verificação dos pacotes de trabalho em processo, os fluxos de produção e de tarefas da equipe técnica são puxados, com objetivo de reduzir o trabalho em processo. Nos estudos B e C, de acordo com o status do pacote de trabalho, o pesquisador comunicava a equipe e puxada ações de acordo com o status. A coleta de dados para atualização do modelo BIM era realizada com observações diretas e entrevistas ao longo do dia a dia de produção. Porém, eliminava a necessidade de observar todos os pacotes de trabalho em todos os dias nos seus locais de produção.

- Atividade 17: Comparação, no BIM, do previsto e realizado.

No estudo de caso B, somente em pacotes de trabalho que se apresentavam atrasados em relação ao planejamento semanal a comparação foi feita. Por exemplo, na figura 54, no pacote de trabalho de pintura de paredes nos apartamentos 2 e 3. Eles estão em tonalidade vermelha pois estão atrasados em relação ao plano semanal.

- Atividade 18: Documentação de metas para os responsáveis (podendo ser planilha de médio prazo).

No estudo de caso A, a formalização das metas foi o planejamento mestre da obra, validado com apoio do modelo BIM. O documento analisado que trouxe a confirmação foi o próprio cronograma de obras, formalizado no planejamento mestre da produção. Ao longo da obra, o modelo BIM 4D não foi utilizado para visualização e melhor entendimento. As duas reuniões realizadas em 18 de fevereiro de 2013 e 04 de março de 2013 tiveram objetivo de discutir o planejamento para que as metas fossem realizadas. O pesquisador trouxe o modelo BIM 4D para discussão dos pontos em conflito, conforme apresentados nas figuras 38, 39 e 40. Inicialmente, a equipe envolvida não interpretou a visualização. Sendo assim, o pesquisador precisou realizar um treinamento a todos. Na opinião dos engenheiros envolvidos na reunião, a visualização auxiliou no entendimento dos conflitos de produção.

No estudo de caso B, todos os status dos pacotes de trabalho puxavam o trabalho da equipe técnica da obra. Os documentos formais para metas eram os próprios documentos da empresa que, através de uma análise destes documentos, as decisões baseadas no modelo BIM 4D, eram documentadas através do *Lookahead* e plano de curto prazo. Por exemplo, o *Last Planner*, as fichas de qualidade e um documento padrão de medição. As metas eram delegadas apenas com comunicação verbal. Em entrevista com o engenheiro de produção, este citou que o modelo BIM auxiliou a visualizar interferências, porém, julgou mais importante do que a visualização e o uso do modelo BIM 4D, as discussões trazidas pelo pesquisador às reuniões. O mesmo foi constatado através de observação direta.

No estudo de caso C, um tratamento parecido com o estudo de caso B foi realizado. Porém, o senso de urgência estava na redução dos pacotes de trabalho com falta de terminalidade. Em entrevista realizada com dois mestres de obras, estes confirmaram que a visualização trazia um senso de urgência, mas que o banco de dados impresso explicava melhor o local e os detalhes da falta de terminalidade. Na opinião destes ainda, o modelo BIM não precisa ser eliminado, e sim, adicionado mais informações em sua interface.

Tabela 19 – questão: O modelo BIM transmitiu informações visuais de metas a serem cumpridas, deixando claro o planejamento?

Estudo de caso	Resposta
A	Através de análise do cronograma da obra foi possível identificar que o BIM transmitiu as informações de metas. A participação nas reuniões de planejamento, através de observação direta e participante, foi possível identificar que as metas foram transmitidas visualmente.
B	Quanto a planejamento da produção, o <i>Lookahead</i> e o plano semanal traziam as metas produtivas, sem relação direta com o modelo BIM. Já quanto ao controle, todos os status dos pacotes de trabalho comunicavam uma ação da equipe técnica, dessa forma impondo metas operacionais e puxando o trabalho.
C	O senso de urgência esteve principalmente na redução de falta de terminalidade.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: o autor (2015)

Para metas de planejamento *Lookahead* referente à remoção de restrições, a planilha de médio prazo se mostrou mais eficiente do que a visualização no modelo BIM. Agora para controle do tempo de ciclo a partir do momento em que o pacote de trabalho estava no planejamento semanal, à visualização no modelo BIM era eficiente e eficaz para puxar tarefas de controle.

f) Ação número 6.

- Atividade 19: Em situação de planejamento, discutir a respeito do fluxo daquela e das atividades em torno desta.

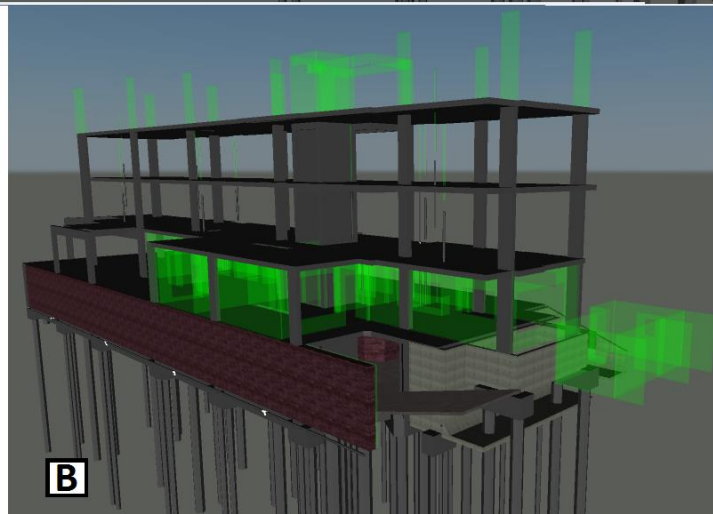
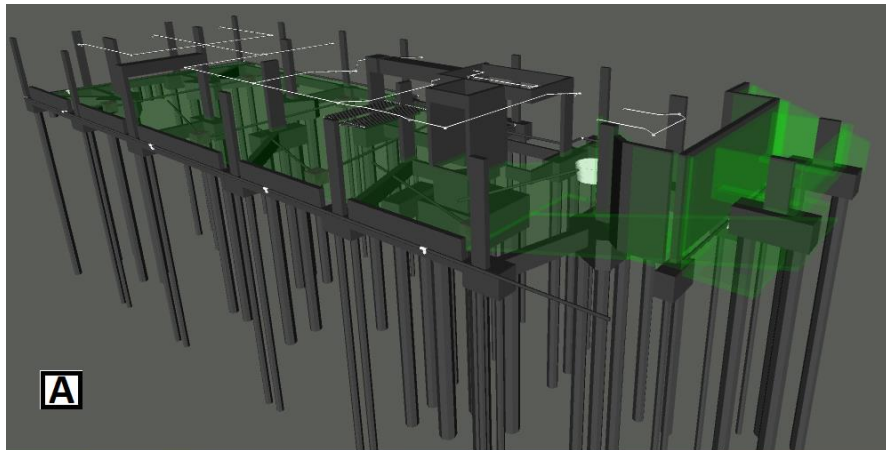
No estudo de caso A, as situações demonstradas pelas figuras 38, 39 e 40 foi alvo de discussão a respeito de fluxo. Melhorar o planejamento para a forma que ele foi para o canteiro, foi uma maneira de otimizar o planejamento, sem interromper o fluxo.

No estudo de caso B, as situações demonstradas pelas figuras 42, 43 e 44 demonstram decisões de planejamento buscando melhoria do fluxo, auxiliadas pelo modelo BIM. A previsão buscava fluxo estável, sem interrupções ou aumento de tempo de ciclo. As figuras 53 a 57 demonstram controle dos fluxos de produção dos pacotes de trabalho. Foi possível visualizar a produção e garantir que o seu fluxo não se interrompesse.

No estudo de caso C, as figuras 58 e 60 demonstram a possibilidade de buscar fluxo contínuo através do controle e visualização da produção.

No estudo de caso E, durante a elaboração do planejamento com apoio do modelo BIM 4D, algumas situações foram alvo de discussão de fluxo e tomada de decisão. A atividade de alvenaria sempre iniciava pelo 2º pavimento, pois o engenheiro de produção reservava o espaço do pavimento térreo para estoques. Através do modelo BIM 4D, pode ser detectado que o piso do subsolo tinha sua produção em momento avançado da obra, dificultando acesso e trabalho no local. A decisão tomada foi a seguinte: produzir o piso antes mesmo da laje que o cobre, assim este espaço pode servir como estoque, liberando o pavimento térreo para que seu pacote de trabalho de alvenaria seja produzido. A figura 61 demonstra a decisão tomada no modelo BIM 4D.

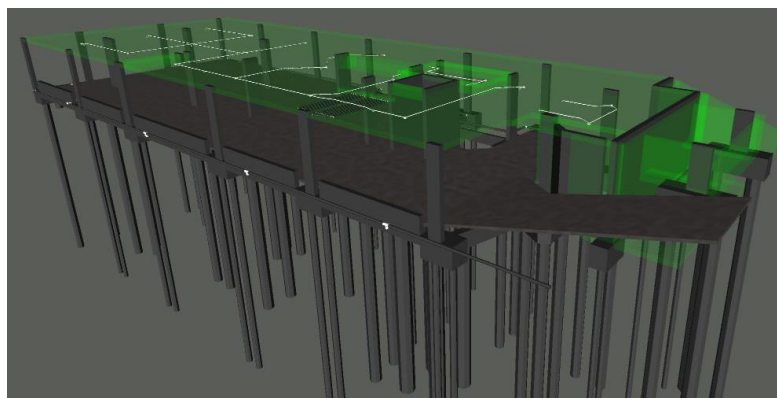
Figura 61 – (a) o piso do subsolo sendo produzido antes da laje; e (b) alvenaria iniciando pelo térreo.



Fonte: o autor (2015)

Um muro de arrimo se situa no subsolo. O modelo BIM 4D detectou a necessidade de planejamento deste, conforme a figura 62.

Figura 62 – O muro de arrimo teve sua produção planejada perto das lajes que o cobrem

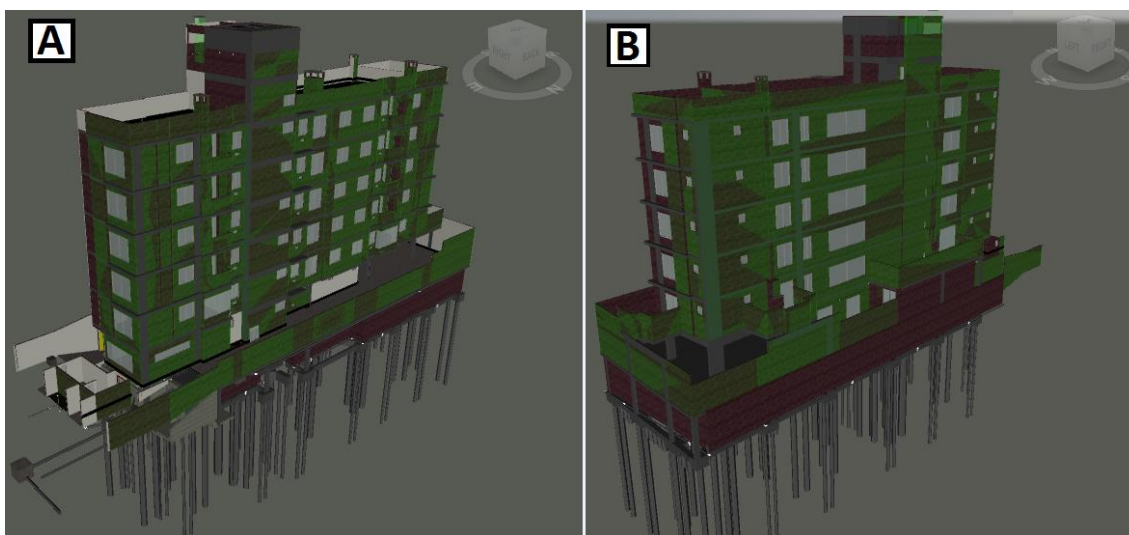


Fonte: o autor (2015)

Isso gerou discussão a cerca de qual seria o melhor momento de produção, com relação ao fluxo de obra. A decisão foi por produzir o muro junto

com os pilares do pavimento subsolo, pois assim, a laje já seria apoiada neste muro. Se fosse deixado para produção depois, o acesso seria dificultado gerando aumento no tempo de ciclo e possibilidade de variabilidade. A sequência de produção das atividades de fachada sempre respeitava a lógica do término antecipado, para retirada do elevador de carga e para devolver andaimes alugados o mais rápido possível. Havia uma incompatibilidade na produção destes pacotes de trabalho com a alocação e retirada do elevador de carga. A decisão foi por adotar a sequência de produção norte e leste e, posteriormente, sul e oeste. O elevador ficou alocado na face sul, com pouca interferência nos pacotes de fachada. E seria retirado após o término da atividade de revestimento de fachada com argamassa. A figura 63 demonstra a decisão de produção.

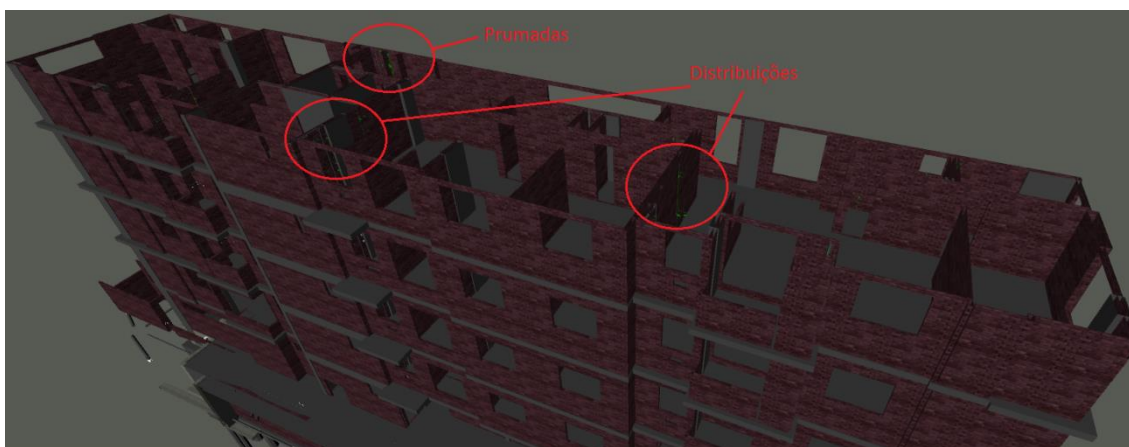
Figura 63 – produção de pacotes de trabalho de fachada em (a) norte e leste; e (b) sul e oeste



Fonte: o autor (2015)

Essa opção de fachada acreditou ser aperfeiçoada com os recursos disponíveis, em termos de fluxo de produção e tempo de ciclo. Ainda no estudo de caso E, instalações hidráulicas de água fria tiveram planejamento decidido para produção de prumadas junto com as distribuições. A empresa praticava produção em momentos diferentes e seus engenheiros diziam que sempre dava problema em fluxo com outras atividades. A figura 64 demonstra a produção em conjunto.

Figura 64 – para os pacotes de trabalho de água fria, distribuições e prumadas seriam produzidos em conjunto.



Fonte: o autor (2015)

Tabela 20 – questão: O BIM tornou o fluxo estabilizado e melhorado?

Estudo de caso	Resposta
A	O fluxo foi melhorado, foi possível otimiza-lo. Porém, não se teve dados de sua estabilidade no momento e produção.
B	O fluxo pode ser melhorado, com base no planejamento e estabilizado, com base no controle de dia a dia.
C	O fluxo pode ser parcialmente estabilizado e completamente melhorado, pois neste estudo de caso, não foram todos os status que puderam ser geridos.
D e E	Quanto a estabilizado não foi possível detectar. Porém, em termos de melhoria, em discussões com profissionais de produção, acreditou-se ser decisões buscando um fluxo o mais próximo do ótimo possível, com os recursos ali disponíveis.

Fonte: o autor (2015)

Para discussões de planejamento, prevendo o fluxo produtivo no futuro, os estudos de case D e E demonstraram a eficácia com a utilização do modelo BIM. Visualizando a produção, ficava mais fácil interpretar e discutir o andamento das atividades. Para manter fluxo contínuo de produção, os estudos B e C demonstraram que o controle realizado através do modelo BIM gerou a possibilidade de informar a toda equipe ver a situação produtiva. Porém, houve necessidade de constante coleta de dados para manter o modelo BIM atualizado. Uma alternativa para que não exista essa necessidade

é a utilização de cartões *kanban* de produção, transmitindo as metas e facilitando a coleta de dados para atualização.

- Atividade 20: Transmitir a equipe de apoio do canteiro essas informações de caminhos a se percorrer, possíveis estoques, etc.

- Atividade 21: Verificar se as decisões tomadas com base no modelo BIM foram cumpridas no canteiro de obras.

Tabela 21 – questão: O tempo de ciclo de uma atividade determinada, estudada neste conjunto de ações, reduziu-se?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou.
B	Não se aplicou.
C	Não se aplicou.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: o autor (2015)

g) Atividade número 7.

- Atividade 22: Inserir do BIM no PCP da obra.

No estudo de caso A o modelo BIM 4D foi inserido na fase de planejamento de longo prazo do PCP (FORMOSO *et al.*, 2001).

No estudo de caso B, o modelo BIM foi inserido na fase de planejamento de médio prazo e na fase de planejamento de curto prazo.

No estudo de caso C, o modelo BIM foi inserido na fase de planejamento de curto prazo.

- Atividade 23: Realização de planejamento e controle no modelo BIM 4D.

No estudo de caso B, as figuras 42 até 44 demonstram a utilização do modelo BIM 4D para planejamento. As figuras 53 até 57 demonstram a utilização do modelo BIM para controle.

No estudo de caso C, as figuras 58 e 60 demonstram a utilização do modelo BIM para controle de produção.

- Atividade 24: Verificar se a produção em canteiro de obras está de acordo com o planejado.

No estudo de caso B, as figuras 53 a 57 demonstram situações de pacotes de trabalho com produção dentro ou fora do prazo, com status “em construção” e “atrasado”.

Tabela 22 – questão: a mão de obra se compromete e segue o especificado e visualizado no modelo 4D?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou.
B	A mão de obra se compromete tanto para atividades de fluxo (remover restrições, conferir qualidade e medir serviços) e atividades de conversão. Porém, a visualização não foi amplamente utilizada neste estudo de caso, ficando mais a cargo do pesquisador comunicar as demandas.
C	A mão de obra se compromete para atividades de fluxo. Para atividades de conversão o sistema <i>Last Planner</i> foi eficaz.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: o autor (2015)

Anteriormente a utilização do modelo BIM 4D no estudo de caso B, as reuniões de planejamento (*Lookahead* ou semanal) tinham boa parte das discussões usadas para nivelar o entendimento produtivo ou explicar bem o que o engenheiro de produção ou encarregado estava querendo dizer. Após a utilização do modelo BIM 4D, as discussões passaram a ser mais sistemáticas

e focadas, com situações mais preditivas (tal como em Liston, Fischer & Winograd, 2001). Com a utilização do modelo BIM para controle da produção, os status e o trabalho em processo não era esquecido, como comumente ocorria tanto no estudo de caso B quanto C, evitando assim a possibilidade do controle. A equipe era constantemente lembrada dos status dos pacotes de trabalho, puxando assim sua produção.

- Atividade 25: Verificar se atividades de planejamento *Lookahead* puxa trabalho da equipe de obra.

No estudo de caso B, pacotes de trabalho que eram filtrados para o *Lookahead* recebiam status “Com restrição”. Isso orientava a necessidade de serem removidas as restrições do pacote para que fosse possível produzi-lo. Na figura 56 é possível verificar que as paredes dos apartamentos 2 e 3 possuem este status.

Tabela 23 – questão: Atividades no planejamento *Lookahead* puxam trabalho da equipe?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou.
B	Sim. A equipe estava comprometida com a visão a médio prazo que o <i>Lookahead</i> proporcionava.
C	Não se aplicou.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: os autores (2015)

Tanto para o planejamento *Lookahead* quando no controle de status produtivo, a equipe tinha suas ações e trabalho puxado. Era criado um senso de urgência de redução do trabalho em progresso. Porém, esse senso trazido pelo BIM ficou mais evidente para pacotes de trabalho que já haviam sido programados. Para pacotes que ainda estavam no plano *Lookahead*, a produção puxada era mais bem estabelecida pelas planilhas do sistema *Last Planner*.

h) Ação de número 8.

- Atividade 26: Gerar relatórios de planejamento e controle com base no modelo BIM.

- Atividade 27: Quantificar atividades pelo modelo BIM

Tabela 24 – questão: O controle de produção com base no modelo BIM traz confiabilidade nos relatórios de planejamento e controle?

Estudo de caso	Resposta
A	Não se aplicou.
B	Não se aplicou.
C	Não se aplicou.
D e E	Não se aplicou.

Fonte: o autor (2015)

## 5.2. Interações entre BIM e construção enxuta

a) Visualização do cronograma 4D

Esta funcionalidade ajuda aos seguintes princípios *lean*:

- Reduzir tempo de ciclo de produção.

No estudo de caso A, ao remover a necessidade do profissional se locomover por entre os pavimentos para produzir instalações hidráulicas e sanitárias, reduziu-se também atividades que não agregam valor ao produto, conseqüentemente reduzindo o tempo de ciclo. Ao detectar necessidade de o planejamento considerar instalações antes da produção da laje do térreo evitou

surpresas no momento da produção, que poderiam aumentar o tempo de ciclo não só do próprio pacote de trabalho de instalações como da laje que as cobriam. Por último, ao prever o início das atividades de revestimento de fachada em argamassa após o término das janelas, evitaram-se retrabalhos no acabamento entre as duas atividades. Consequentemente, buscando reduzir seu tempo de ciclo. Todos os exemplos foram detectados via modelo BIM 4D.

No estudo de caso B, ao planejar que as alvenarias dos pavimentos tipo 6 até 12 fossem produzidas em duas etapas (primeiro a face norte, depois o pavimento inteiro) aumentou o tempo de ciclo do próprio pacote de trabalho, porém, eliminou a possibilidade das atividades de revestimento de fachada em chapisco atrasar seu início de produção. A decisão por alterar a sequência de produção de pisos cerâmicos, rodapés e forros de gesso das sacadas por face ao invés de pavimento, eliminou a chance do acabamento de fachada em textura ser produzido sem estas atividades. Se assim fosse realizado, a textura poderia ser alvo de retrabalhos constantes com aumento no seu tempo de ciclo. A mesma situação foi pensada ao alterar a sequência produtiva das atividades de massa corrida internas, pois se o revestimento de fachada em argamassa fosse realizado em apartamentos com massa corrida já produzida, poderiam ocorrer retrabalhos.

No estudo de caso D, a decisão por criar uma unidade de produção para a fachada independente desta, deixou o melhorou o fluxo de produção, pois não haveria dependência entre fachada e esta célula. Consequentemente reduzindo o tempo de *setup* para parar de produzir fachada e produzir a unidade de produção e, posteriormente, voltar para a fachada. Isso reduz o tempo de produção.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* demonstrando o andamento da produção e detectando interferências entre atividades, ao considerar seus tempos de ciclo. O cronograma pode ser refinado ao ponto de prever o mínimo possível de interferências entre atividades. Com isso, o risco de esperas ou atividades em estoque de processo diminui, consequentemente reduzindo o tempo de ciclo.

- Verificar e validar.

Nos três estudos A, B e D, o modelo BIM 4D proporcionou a verificação de situações futuras. Isso trouxe um poder de decisão superior ao convencional para o gestor, pois foi possível verificar como seria o futuro. A validação do gestor com sua equipe se deram por conta dos documentos resultados como planejamento mestre e planejamentos *Lookahead*.

Dehlin & Olofsson (2008) detectam que a tecnologia da informação e comunicação pode trazer benefícios quando da verificação de situações produtivas, impossíveis de serem visualizadas sem a utilização de BIM e a variável tempo. A validação vem da percepção produtiva e tomada de decisão em manter o fluxo operante.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* permitindo o gestor da produção e tomador de decisões verificarem visualmente, situações do futuro. Após verificação, reflexão vem a tomada de decisão que pode ser verificada no modelo BIM 4D e validada.

- Reduzir a variabilidade com foco na melhoria do fluxo.

No estudo de caso A, o planejamento buscou melhoria no fluxo de produção, através da consideração da sequencia produtiva. Por exemplo, não permitir que revestimento de fachada em argamassa fosse produzido em local onde janela não havia sido colocada. Isso evitou retrabalhos no acabamento entre ambas as atividades. Retrabalho gera trabalho excessivo e fluxo inadequado de produção.

No estudo de caso B, as chances de se obter retrabalho eram diversas. O modelo BIM 4D auxiliou a planejar sequencias produtivas adequadas para evitar a possibilidade do retrabalho. Também, o exemplo das alvenaria sendo produzidas em duas etapas, poderia gerar situações inadequadas no fluxo do pacote de trabalho em fachada.

No estudo de caso D, a criação da unidade de produção independente na fachada foi uma decisão inteiramente pensando em fluxo de produção, pois

do contrario, o fluxo da atividade de fachada seria interrompido para depois ser retomado.

Em Eastman *et al.* (2008, p. 429), o modelo BIM 4D proporcionou a visualização da produção das lajes. Foi estudado o melhor método para garantir segurança e produtividade em obra, a fim de manter um ciclo de quatro lajes por dia. O modelo também garantiu o entendimento da produção quando foram detectadas interferências construtivas. Os mesmos autores ainda relatam que essas decisões economizaram tempo de custo em obra.

Li *et al.* (2009) utilizam o modelo BIM 4D para reduzir incertezas, através da visualização da produção. Em seu estudo, foi possível aperfeiçoar o cronograma dia a dia com base na visualização dos métodos executivos.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* possibilitando visualizar a produção e seus fluxos. Com base em discussões a respeito do fluxo, se permite identificar gargalos, prever equipamentos temporários, formas de transporte e sequencia produtiva, sempre buscando manutenção do fluxo contínuo.

#### - Gestão visual com visualização de métodos e processo executivos

Nos três estudos A, B e C a visualização da produção proporcionou a gestão. Além de verificar o andamento produtivo via modelo BIM 4D, processos e métodos produtivos foram discutidos pela equipe.

Em Li *et al.*, (2009), a produção de peças específicas da estrutura do edifício foram modeladas e descritas passo a passo. Isso proporcionou uma otimização produtiva.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* proporcionando a visualização dos fluxos e andamento produtivo. Isso proporciona a gestão através da visualização dos métodos de produção.

#### b) Comunicação online de produto e processo baseada em objeto.

Esta funcionalidade corrobora tanto com a comunicação online em si, com a visualização do status do processo e contextualização da produção no modelo BIM através de dados coletados dentro e fora de obra.

As funcionalidades ajudam aos seguintes princípios *lean*:

- Redução do tempo de ciclo através da redução de estoque em processo.

No estudo de caso B, o controle da produção baseado nos status de produção de cada pacote de trabalho proporcionou um diagnóstico em tempo real da produção. Através disso, o trabalho da equipe técnica da obra se voltava em função dos pacotes de trabalho e de seus status. Como estes representavam as diferentes etapas do tempo de ciclo, a equipe pode se programar para reduzir o trabalho em processo, conseqüentemente reduzindo o tempo de ciclo dos pacotes de trabalho.

No estudo de caso C, era possível visualizar pacotes de trabalho em produção e pacotes com falta de terminalidade. Decisões foram tomadas em obra para reduzir o estoque em processo dos pacotes de trabalho como elaboração de equipe específica. Também participação de falta de terminalidade como pacotes específicos de trabalho no sistema *Last Planner*.

No estudo de Sacks *et al.* (2009), a visualização do status de produção através de indicadores foi implantada em obra. Isso comunicava o estoque em processo. Em Sacks *et al.*, (2013), o sistema KanBIM é demonstrado. O modelo BIM é utilizado para visualizar e gerir o estoque em processo, diante de todo o tempo de ciclo de cada pacote de trabalho. Bhatla & Leite (2013), utilizaram o modelo BIM para visualizar status de produção durante o planejamento semanal (sistema *Last Planner*), comunicando o estoque em processo.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* através de dados coletados dentro e fora da obra, a produção é contextualizada no

modelo BIM. Os status produtivos tanto de produto e processo são visualizados, por comunicação online. As demandas diante do tempo de ciclo de cada produto são traçadas e busca-se reduzir estoque de trabalho em processo.

- Sistema de produção puxada.

No estudo de caso B, os diferentes status dos pacotes de trabalho puxavam o trabalho da equipe técnica. Por exemplo, com base no status “Com restrição”, o almoxarife era comunicado pelo engenheiro de produção que havia de comprar material. O engenheiro verificava se havia recursos necessários para a produção. Ao ser concluído, um pacote de trabalho recebia status de “Conferir qualidade”, puxando o técnico da obra a aplicar o procedimento de conferência de qualidade. Se o pacote recebesse o status “A medir”, o engenheiro sabia que poderia repassar o valor ao empreiteiro.

No estudo de caso C, um senso de urgência foi criado diante da quantidade de pacotes de trabalho com status “Terminalidade”, onde a equipe era puxada a reduzir a quantidade de acontecimentos.

Nos estudos de Sacks *et al.* (2009) e Sacks *et al.* (2013), os pesquisadores relatam que status de produção puxa o trabalho através da orientação de qual atitude tomar naquele momento, e de quem irá tomar essa atitude.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* com a produção contextualizada no modelo BIM, os status de cada pacote de trabalho fornecem tarefas à equipe de administração ou produção. A ação dos profissionais é puxada através dos status.

c) Checagem *clash* automática

Esta funcionalidade auxilia aos seguintes princípios *lean*:

## - Redução da variabilidade

No estudo de caso A, os produtos das instalações hidráulicas puderam ser compatibilizados e informados, tridimensionalmente, à mão de obra. Isso garantiu uma padronização de projeto e produto, pois a mão de obra não precisou visualizar mentalmente o produto de uma prancha bidimensional. O estudo de caso mostra que bastou seguir o que o modelo BIM informava.

No estudo de caso B, mesmo sendo produzidos após a atividade em obra, os modelos BIM demonstraram ser eficazes na compatibilização e ao informar a lógica do produto. Em obra, as instalações estavam produzidas com algumas diferenças em relação ao projeto. Isso incrementa variabilidade, aumentando o risco de baixa qualidade.

Nos estudos D e E, os exemplos de aplicação foram os mesmos. A equipe de engenheiros de projeto e de obra auxiliou na resolução das incompatibilidades. Dessa forma foi possível propor soluções sem pressão por produção e decisões rápidas, impostas pelo ambiente produtivo, buscando padronizar as instalações. Isso reduz a variabilidade.

No estudo de Eastman *et al.* (2008), a checagem de incompatibilidades puxa tomadas de decisão da equipe para resolve-las e padronizar os produtos. É o caso quando os arquitetos e engenheiros obtêm acesso ao modelo BIM para esclarecer suas dúvidas e compatibilizar seus projetos.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* trazendo a possibilidade de validar a solução de interferências físicas tridimensionalmente. Assim, no momento de produção, o profissional não precisa visualizar mentalmente o produto tampouco validar alguma interferência de projeto. Cada profissional pode realizar essa atividade de uma maneira diferente. Através da padronização via BIM, a variabilidade é reduzida.

## - Verificar e validar

Nos estudos A, B, D e E é possível perceber que o modelo BIM, através de sua funcionalidade de checagem de incompatibilidades, verifica situações antecipadamente à produção.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* permitindo facilmente verificar interferências físicas entre elementos, trazendo a situação real para ser coordenada, resolvida e validada ainda em projeto. Isso tira a responsabilidade da obra dessa validação no momento de produção.

#### d) Geração automatizada de tarefas

Esta funcionalidade auxilia aos seguintes princípios *lean*:

- Redução da variabilidade: qualidade na primeira tentativa.

No estudo de caso A, o pacote de trabalho de laje do piso do térreo estava sendo negligenciado. Foi possível sua consideração.

Nos estudos D e E, a necessidade de uma revisão na EAP da empresa demonstrou diversas atividades que eram negligenciadas como pacotes de trabalho. Consequentemente, esses pacotes de trabalho não tinham devido planejamento e controle.

No estudo Eastman *et al.* (2008, p. 409), a verificação de tarefas detalhadas para os pacotes de trabalho, como colocação de parafusos entre outros, trouxe uma noção produtiva maior a equipe. Isso gerou necessidade de planejar essas tarefas e também controlá-las.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o princípio *lean* evitando a omissão de pacotes de trabalho que podem ter sua necessidade descoberta durante o momento de produção. Isso pode gerar pouco tempo para remover restrições e incrementando variabilidade na produção.

- Redução do tempo de ciclo de produção.

Nos os estudos A, D e E, a negligência dos pacotes de trabalho poderia ocasionar em incremento no tempo de ciclo de outras atividades e delas mesmo. Isso por conta da não consideração de restrições a serem removidas com tempo de antecedência.

A seguinte funcionalidade BIM auxilia atingir o principio *lean* da seguinte forma: as tarefas geradas são encaminhadas ao planejamento para que seja possível cumprir requisitos de outras atividades sucessoras, evitando assim interferências, retrabalhos e espera por diversos motivos por parte dessas atividades. Isso gera como consequência a redução do tempo de ciclo.

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho consistiu na aplicação do planejamento e controle da produção em obras de construção civil. Através dessa aplicação, selecionar funcionalidades BIM para serem utilizadas, puxando princípios da construção enxuta, que relacionem processo, pessoas e parceiros, e solução de problemas, conforme Liker (2004). Lembrando que a filosofia lean não está relacionada à utilização de BIM (Sacks *et al.*, 2010).

Através da utilização do BIM puxada por etapas do planejamento e controle da produção, é possível trazer discussões para a equipe. Discussões relevantes que preveem o futuro da produção. Essas discussões vão trazer tomadas de decisão que protegem a produção, reduzindo incertezas e possíveis perdas.

### 6.1. CONCLUSÕES RELATIVAS À PRODUÇÃO

Ao checar e resolver incompatibilidades físicas entre disciplinas ou peças de projeto, reduz-se a chance de erros no momento da produção, reduzindo perdas por conta de retrabalho ou até mesmo manutenções precoces no edifício. Com isso, a variabilidade na produção é reduzida, pois a mão de obra irá compreender o produto através da solução e visualização tridimensional.

Ao verificar pacotes de trabalho que estavam sendo negligenciado no planejamento, você pode considerar as restrições deste pacote. Remover essas restrições e programar o pacote de trabalho. Do contrário, o pacote de trabalho poderia ser verificado muito próximo à sua necessidade de início de produção. Consequentemente poderia haver restrições não removidas durante a produção ocasionando em *making-do* e perdas. Evitando o *making-do*, se garante que o tempo de ciclo foi reduzido, bem como de primeira o cronograma de obra possui uma versão sem necessidade de grandes revisões.

Ao verificar a produção através do modelo BIM 4D é possível prever plano de ataque da obra e táticas produtivas. Isso reduz a chance de pacotes de trabalho ficarem impossibilitados de serem iniciados ou terminados por conta de outro pacote de trabalho que ali se produz (no mesmo local). Se isso ocorre, pode haver perda de material, perda por mão de obra parada, perda por depreciação do produto por estoque em processo, etc. Os pacotes de trabalho estrategicamente planejados terão seu tempo de ciclo reduzido. Também com o modelo BIM 4D, é possível levantar questionamentos a respeito dos fluxos das atividades. Por exemplo, como possibilitar acesso de equipes a cada pacote de trabalho; e qual a ordem de produção dos pacotes de trabalho. No caso deste trabalho, não foram utilizadas técnicas de simulação e/ou heurísticas para otimização, porém, com o modelo BIM 4D, o fluxo de produção pode ser previsto de maneira a ser aperfeiçoado, prevendo o mínimo possível de interferências de fluxo.

Através da visualização do status do processo produtivo, é possível visualizar a produção. É possível verificar qual a situação de cada pacote de trabalho naquele instante, sem a necessidade de entrevistas com encarregados e observações diretas no local. Nos estudos, os status de cada pacote de trabalho, antes da utilização de BIM, eram limitados a “com restrição”, “em construção” e “atrasado”. Apenas retrabalho comprometendo a estabilidade estrutural ou algum acabamento era realizado. Ao final de cada mês, um grande trabalho de levantamento de quantidades via pranchas bidimensionais era realizado para o pagamento da mão de obra (por produção). Também, o tempo despendido para análise documental para saber o quanto pagar era grande e com chance de erros (corria o risco de pagar a menos ou a mais do necessário). A visualização dos status pelo modelo BIM criou uma rotina de gestão do tempo de ciclo do pacote de trabalho, onde a equipe de obra sabia o status da produção. Tendo esse conhecimento, o trabalho de cada integrante da equipe era puxado, a fim de reduzir o tempo de ciclo e o estoque em processo. Pois a visualização era realizada com apoio da contextualização da produção por dados coletados. Foi possível melhorar a comunicação entre a equipe, onde o foco era a produção.

Todas as funcionalidades, exceto checagem de incompatibilidades físicas, foram apoiadas pelo Sistema *Last Planner (LPS)*. Isso porque o LPS

criou a utilização dos fluxos de dados de maneira sistemática. E o BIM melhora o processo reduzindo perdas.

Para que se utilize o BIM puxado pelo PCP, buscando princípios da construção enxuta, é preciso que seja estabelecido o próprio processo de PCP. Baseado no Índice de Boas Práticas de PCP (BERNARDES, 2001), este trabalho não pretende especificar um nível mínimo para a viabilidade da utilização de BIM. Mas é necessário ter o sistema *Last Planner* em funcionamento para aplicação de grande parte das interações. Para as interações em fase de projetos, como checagem de incompatibilidades, é preciso estabelecer uma forma de gestão do processo de projeto, para que as incompatibilidades encontradas possam ser resolvidas pela equipe e incorporadas ao projeto pelos profissionais responsáveis. É preciso prever tempo para elaboração dos projetos, tempo para modelagem, tempo para detecção das incompatibilidades e tempo para resolução destas. Também o comum acordo e apoio da equipe.

## **6.2. CONCLUSÕES RELATIVAS À TECNOLOGIA**

Durante os anos de 2013 e 2014, onde esse trabalho foi realizado, as ferramentas utilizadas atendiam as expectativas do método proposto. Porém, houve um período de preparação do pesquisador. Essa preparação constou com (a) aprendizado nas ferramentas, (b) aprendizado entre as ferramentas, (c) aprendizado nas funcionalidades BIM e (d) detecção de aplicação em etapas do PCP. O aprendizado (a) é no software propriamente dito. Para aprender, o pesquisador levou três meses; o aprendizado (b) consiste em como se elaborar um sistema, através de um conjunto de ferramentas, para atender os modelo BIM 3D e 4D, considerando interoperabilidade entre as ferramentas. Esta etapa condisse com os três meses da etapa anterior acrescidos de mais dois meses; o aprendizado (c) consiste em adquirir destreza com o sistema (conjunto de ferramentas) e revisão de literatura, buscando práticas de outros pesquisadores. Durante todo o período de pesquisa essa etapa foi cumprida; o aprendizado (d) consiste em leitura aprofundada na literatura de PCP e

convivência em obra. No estudo de caso C, foi necessário que o pesquisador facilitasse a implantação do sistema *Last Planner* como prática PCP, para poder entender quais interações ali aplicar. Para poder aplicar as interações é preciso ter conhecimento na tecnologia BIM.. É preciso escolher ferramentas adequadas para a formulação de um sistema BIM (conjunto de ferramentas).

A tecnologia possibilitou a gestão nas etapas de planejamento e controle propriamente dito (com BIM 4D e status de produção) e a modelagem BIM 3D dos projetos para posterior detecção de incompatibilidades físicas.

Tanto para processo como para tecnologia, é preciso que a organização tenha um conjunto de padrões para orientar os fluxos de dados. Por exemplo, é indispensável a utilização de uma Estrutura Analítica de Projetos. Essa ferramenta é a principal entrada para organizar os dados dentro de uma ferramenta BIM e também os dados do sistema *Last Planner*. É preciso também que sejam criados procedimentos para julgar quando um pacote de trabalho está com falta de terminalidade ou necessita de retrabalho. Isso porque o tempo com julgamentos não padronizados é elevado e pode aumentar a variabilidade (é preciso ter controle de qualidade padronizado).

### **6.3. CONCLUSÕES RELATIVAS A PESSOAS**

Antes de iniciar a utilização das interações entre BIM e construção enxuta, é preciso explicar às pessoas envolvidas como se dará o trabalho. Principalmente o propósito daquela intervenção deve ser explicado. Na experiência do pesquisador, a utilização de modelos BIM pode fascinar um determinado perfil de pessoa e parecer irrelevante para outro perfil. Porém, a opinião favorável das pessoas é unânime quando se explica as perdas que podem ser reduzidas através da construção enxuta. Após isso, é possível abordar as pessoas com o PCP estruturado, criando um método de gestão da produção. Após o convencimento, usando como argumento a redução de perdas, e o apoio, com a implantação de práticas sistemáticas do PCP, a utilização do BIM é aceita pela equipe. Mas o profissional que empreender nesta ideia deve ser persistente e trabalhar motivando as pessoas. Nos

estudos onde o sistema *Last Planner* foi utilizado, constantemente as pessoas envolvidas questionavam as reuniões e as tomadas de decisão. Nos estudos na fase de pré-obra, o mesmo ocorria quando as incompatibilidades eram detectadas e encaminhadas para análise.

#### **6.4. RESPOSTA AO PROBLEMA DE PESQUISA**

A organização que estiver interessada em utilizar a Modelagem da Informação da Construção para reduzir perdas em seu processo de construção precisa empreender um esforço sequenciado: elaborar um diagnóstico do planejamento e controle da produção; propor melhorias em seu PCP com base no sistema *Last Planner*; encontrar uma tecnologia adequada ao seu processo; somente após seu PCP em pleno funcionamento, aplicar BIM puxado pelo próprio PCP. Então realmente BIM deixou o processo mais enxuto.

Respondendo a pergunta dessa pesquisa: “a utilização de Modelagem da Informação da Construção tem características intrinsecamente fundamentais para a redução de perdas na construção, se utilizadas diante do planejamento e controle da produção?” Sim. As características de proporcionar contextualização da produção, visualização do status produtivo, comunicação online do produto e processo, checagem “*clash*” automática, geração automatizada de tarefas e visualização do BIM 4D são fundamentais para reduzir perdas. Além de gerar confiabilidade no sistema (o usuário acredita no que está verificando com auxílio do BIM), reduz a necessidade de utilização de documentos e elevado esforço mental para adquirir tais características. O que pode acontecer é simplesmente a produção ter ser controlada de tal maneira e as perdas ocorrerem da mesma forma ou até pior.

## 6.5. OBJETIVO PRINCIPAL E OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

Os objetivos secundários dessa pesquisa foram atingidos da seguinte forma:

- a) Compreender como planejamento e controle da produção podem favorecer princípios da construção enxuta.

Através da revisão de literatura em ambos os termos e a prática vivenciada nos estudos, foi possível verificar que o PCP pode favorecer os princípios da construção enxuta. Isso em termos de processo, pessoas e parceiros, e solução de problemas. Evidentes na seção 2.5 deste texto bem como nas respostas ao protocolo de coleta de dados, na seção 5.1.

- b) Compreender como integrar Modelagem da Informação da Construção com o planejamento e controle da produção.

Conhecendo as funcionalidades BIM e vivenciando a prática do PCP é possível utilizar essas funcionalidades nas diferentes etapas. Dados que constam na seção 5.1.

- c) Compreender como as interações entre Modelagem da Informação da Construção e construção enxuta podem ser operacionalizadas na engenharia de produção.

Esse trabalho trouxe exemplos da utilização das interações entre BIM e construção enxuta para gestão da produção, uma prática da engenharia de produção. É possível verificar com as respostas às questões do protocolo de coleta de dados, na seção 5.1.

A seguir, o trabalho traz diretrizes de aplicação da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no planejamento em controle da produção (PCP) em fase de produção em obra e pré-obra apoiando os princípios da construção enxuta. Trata-se do objetivo principal deste trabalho.

## 6.6. DIRETRIZES DE APLICAÇÃO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM PCP E MÉTODO DE INTERVENÇÃO

Tabela 25 – Diretrizes de aplicação

Etapa do PCP	Funcionalidade BIM	Diretrizes	Atividades (do protocolo de coleta de dados)	Questões a serem respondidas
Preparação do processo de PCP	-	Elaborar um diagnóstico organizacional de fluxos de dados através de um DFD.		
	-	Propor um prognóstico para esse DFD, idealizando como devem ser os fluxos de dados. Fazer a implantação.		Aceito pela diretoria da organização ?
	Todas	Elaborar uma EAP com base da experiência dos engenheiros de produção em obra e na ferramenta BIM, considerando pacotes de trabalho a nível operacional.		Esta EAP atende necessidade e de visualização do modelo BIM 4D?
	Todas	Estudar ferramentas para elaboração dos modelos BIM (3D e 4D), para planejamento de obras e para o sistema <i>Last Planner</i> . Considerar a relação entre cada ferramenta e a interoperabilidade. Assim é possível constituir o sistema BIM a ser utilizado no PCP.		Dentro do DFD, onde será instituído o Sistema <i>Last Planner</i> ? Quais serão as ferramentas do <i>Last Planner</i> e BIM?
	-	Definir os padrões de PCP para a organização.		Aceito pela diretoria da organização

				?
Comunicação online de produto e processo	Definir procedimentos para gestão da qualidade e terminalidade de pacotes de trabalho.			Em qual fluxo do DFD este procedimento se encaixa?
	Definir procedimentos para pagamento da mão de obra por produção.			
	Definir o sistema <i>Last Planner</i> bem como o processo de identificação de restrições para cada pacote de trabalho.			
	Definir etapas de cada tempo de ciclo dos pacotes de trabalho. Usar este trabalho como exemplo. Cada etapa representa um status de produção para ser visualizado no modelo BIM.			
	Definir tarefas a serem realizadas para cada etapa do tempo de ciclo. Definir responsáveis para essas tarefas.			
Visualização do modelo BIM 4D	Definir situações que não podem ocorrer na produção em canteiro de obras, com base na experiência dos engenheiros de produção. Por exemplo, não produzir duas atividades em um mesmo espaço de trabalho. Este documento (banco de dados) terá versão um.			Em qual fluxo do DFD este banco de dados se encaixa? Quem poderá ter acesso ao banco de dados? Como ele será retroalimentado com

				dados de outras obras?
	<p>Checagem “clash” automática</p>	<p>Definir um processo de projeto para gestão desta etapa. Por exemplo, projeto de arquitetura inicia sua produção. Após isso, o projeto de estruturas elabora as formas e encaminha a outros projetistas. Após estes lançarem tubulações e outras partes, o modelo BIM pode ser elaborado para detecção de incompatibilidades*.</p>		<p>Quem é o responsável por gerenciar os projetos da organização? Como é exatamente o processo de projeto? Os projetistas estão cientes e de acordo? Como se encaixa no DFD?</p>
	-	<p>Extrair quantitativos do modelo BIM 3D para utilização em orçamento executivo.</p>		<p>Todos os pacotes de trabalho da EAP podem ter seus quantitativos retirados via modelo BIM?</p>
Planejamento de longo prazo	<p>Geração automatizada de tarefas</p>	<p>Conferir a EAP anteriormente elaborada com o modelo BIM 3D, verificando cada detalhe e se consta como pacote de trabalho.</p>	<p>05: gerar o modelo BIM 4D. 06: verificar atividades que não constavam no planejamento anteriormente</p>	<p>Algum pacote na EAP precisa ser criado?</p>

			elaborado	
Visualização do modelo BIM 4D	Definir uma sequência produtiva dos pacotes de trabalho e passar isso à ferramenta de planejamento (por exemplo, <i>Microsoft Project</i> ).	07: refinar o cronograma estratégico ou operacional.	Há interferências ou incompatibilidades entre atividades?	
	Através dos quantitativos extraídos anteriormente, por pacote de trabalho, calcular a duração unitária para cada um destes. Colocar na ferramenta de planejamento. Aqui se tem um planejamento mestre prévio. De preferência, utilizar a técnica da linha de balanço**.	Utilizar o estudo de Garrido, Nardino e Mendes Junior (2013)	Todos os pacotes de trabalho possuem durações e ciclo de produção?	
	Produzir o modelo BIM 4D com este planejamento prévio.	05: gerar o modelo BIM 4D.	-	
	Detectar através da visualização, situações interferência entre pacotes de trabalho e situações contidas no documento versão um. Revisar o planejamento mestre.	07: Refinar o cronograma estratégico ou operacional.	-	
	Elaborar planejamento mestre definitivo.		-	
Visualização do modelo BIM 4D	Constituir dos modelos BIM 4D: um para planejamento e um para controle. O primeiro será usado em <i>Lookahead</i> e plano mestre. O segundo irá gerir os status de cada pacote de trabalho. Para facilitar, ainda neste segundo, a <i>Microsoft Project</i> deverá ter tarefas “agendadas	05: gerar dois modelos BIM 4D: um para ser usado para planejamento e outro para controle visual por status.	Os modelos BIM 4D têm flexibilidade para alterações em plano de ataque?	

		manualmente”. Lembrando que indicadores de desempenho serão extraídos do modelo BIM 4D de planejamento.		
	Checagem “clash” automática	Com o auxílio de um <i>tablet</i> , levar detalhes construtivos do modelo BIM para o canteiro de obras. Utilizar visualizadores gratuitos de formatos como RVT, IFC, etc.	01: realizar <i>Clash Detection</i> no software Autodesk Navisworks e trabalhar nas interferências	Interferências estão resolvidas? A mão de obra terá acesso ao modelo 3D?
	-	Não se esquecer das outras atividades desta etapa do PCP como programação de recursos, difusão de planos, etc.	-	-
Planejamento de médio prazo	Visualização do modelo BIM 4D	A cada reunião de Lookahead, atualizar o modelo BIM 4D (plano) e estudar os pacotes de trabalho que irão entrar nesta etapa. Aqui possivelmente outros pacotes deverão ser criados, de acordo com o andamento da produção, como ocorreu no estudo de caso B. Atualizar o plano mestre e o Lookahead de acordo com discussões da reunião. No modelo BIM 4D (controle) colocar estes pacotes de trabalho com status “com restrição”.	09: Estudar a atividade no modelo 4D no período do planejamento <i>Lookahead</i> validando com a mão de obra 13: Realizar propostas de replanejamento visual no BIM com posterior tomada de decisão 14: Compatibilizar com o planejamento <i>Lookahead</i>	A equipe compreendeu a utilização do BIM para refino operacional ?
	Comunicação online de	Acompanhar a remoção de restrições até que o pacote	10: Preparar o início da	As restrições

	produto e processo	de trabalho possa receber o status de “sem restrição”.	atividade de acordo com o BIM 4D. 19: Em situação de planejamento, discutir a respeito do fluxo daquela e das atividades em torno desta.	estão sendo sistematicamente levantadas e gerenciadas? A atividade foi seguida de acordo com o BIM 4D, em termos de preparação e produção?
	-	Não se esquecer das outras atividades desta etapa do PCP como programação de recursos, difusão de planos, etc.	-	-
Planejamento de curto prazo	Comunicação online de produto e processo	Com base nos planos semanais e no Lookahead, elaborar novos planos semanais. Pacotes de trabalho que podem ser programados devem receber status “em construção”	15: Introdução do BIM no PCP e na reunião semanal de Last Planner	
		Dia a dia gerir status de produção e comunicar aos responsáveis, puxando seus trabalhos. É importante manter os status sempre atualizados pelo menos de três em três dias e a cada reunião de <i>Last Planner</i> .	16: Controle semanal das atividades de produção. 17: Comparação, no BIM, do previsto e realizado. 18: Documentação de metas para os responsáveis (podendo ser planilha de médio prazo).	Quem é o responsável por gerir os status de produção? Os status de produção devem gerir o tempo de ciclo dos pacotes de
		Com a gestão dos status é possível utilizar os padrões de qualidade elaborados anteriormente. Também		

		realizar pagamentos de mão de obra conforme os pacotes de trabalho vão adquirindo o status requerido.	20: Transmitir a equipe de apoio do canteiro essas informações de caminhos a se percorrer, possíveis estoques, etc.	trabalho.
		Valorizar os indicadores do sistema <i>Last Planner</i> (PAP, PPA, PPC e motivos de não conclusão de pacotes).	24: Verificar se a produção em canteiro de obras está de acordo com o planejado.	
Avaliação do processo de PCP	Contextualização através de dados coletados dentro e/ou fora da obra	Periodicamente ou pelo menos uma vez ao término da obra, levantar indicadores de desempenho do sistema <i>Last Planner</i> e relacioná-los, visualmente, com o modelo BIM. Realizar reuniões com a equipe para verificar os indicadores por pacotes de trabalho ou local (por exemplo) para coletar <i>feedbacks</i> , buscando a melhoria contínua.	26: Gerar relatórios de planejamento e controle com base no modelo BIM. 27: Quantificar atividades pelo modelo BIM.	-
		Após essa etapa de <i>feedback</i> , revisar o documento de situações que não podem ocorrer em obra. Essa revisão irá gerar uma versão dois deste documento. Por todas as obras, buscar fazer esse procedimento.		

\* extraído de Melhado *et al.* (2005), Mikaldo Junior (2006) e Manzione (2013).

\*\* (MENDES JUNIOR, 1999).

Fonte: o autor (2015)

Para que a intervenção seja de sucesso, em primeiro lugar é preciso realizar o diagrama de fluxo de dados para compreender como os dados são trocados dentro da organização. Após isso, é preciso buscar críticas ao atual modelo visando melhorias. Essas melhorias precisam ser implantadas com auxílio de ferramentas e/ou documentos de gestão. Toda implantação deve ser planejada etapa por etapa com razoável tempo. E a intervenção deve visar a implantação de BIM na organização.

O processo de projeto deve ser elaborado e gerido por profissional capacitado, exclusivo ou não. A organização pode optar por cobrar os projetos em modelos BIM ou produzi-los internamente em seu processo. É preciso prever uma ferramenta online e colaborativa para que todos acessem os modelos que lhe interessem. Cabe lembrar que o modelo BIM necessita ser iniciado mediante a formulação de um programa de necessidades.

Após o projeto concluído e passível de se iniciar atividades de pré-obra, a organização deve preparar o modelo mediante sua EAP. Uma alternativa para que projetistas não encaminhem seus modelos com informações organizacionais internas, é exportar este modelo em formato do software *Autodesk Navisworks* (se a solução foi da *Autodesk*). Os softwares BIM podem ou não podem ter campos para conter informações importantes ao pré-obra e a obra. No caso negativo, é possível promover planilhas de informações que sejam organizadas via EAP (assim como o modelo). Essas planilhas podem ser: cronograma, planejamento orçamentário, controle de qualidade, etc., enfim, documentos que carregam dados. O pré-obra se utiliza o modelos BIM 4D para gerar o planejamento de obras e o modelo BIM 5D para gerar o planejamento orçamentário desta obra.

Definido o cronograma mestre, a obra pode se iniciar. Neste momento o Sistema Last Planner precisa estar em operação, com reuniões semanais para o plano de trabalho semanal e reuniões, no mínimo, mensais, para *Lookahead* e identificação de restrições. Restrições precisam ser removidas de maneira planejada, como se o engenheiro de produção gerisse o *Lookahead* e a remoção de restrições e mestres de obra gerissem o plano de trabalho semanal. A cada dois ou três dias, baseado na experiência deste trabalho, os status dos pacotes de trabalho precisam ser atualizados e repassados à equipe. Assim é possível puxar tarefas e reduzir tempo de ciclo e estoque em

processo. Como ferramentas para o Sistema *Last Planner*, é possível utilizar planilhas específicas. De grande importância a utilização de indicadores de desempenho.

Estes indicadores de desempenho juntamente com status de cada pacote de trabalho devem estar documentados. Futuramente, quando o processo for avaliado, é possível puxar a memória daquele empreendimento e retroalimentar o banco de dados. Essas informações podem ser utilizadas em outros empreendimentos para que mesmos erros não sejam cometidos.

#### **6.7. DE ACORDO COM SACKS *et al.* (2010)**

Este trabalho aplicou interações entre BIM e construção enxuta propostas por Sacks *et al.* (2010). Foi possível comprovar que a utilização de BIM não trata da filosofia *lean*, apenas de processo, pessoas e solução de problemas, com melhoria de processo. Porém, somente em atividades em obra e na etapa pré-obra. BIM pode promover potencialização dos princípios *lean* através da redução de perdas.

#### **6.8. SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS**

As seguintes sugestões são deixadas para pesquisas futuras:

- a) Aplicar a interação entre contextualização através de dados coletados dentro e fora de obra e melhoria contínua gerando um processo para a organização e um banco de dados.
- b) Gerir status dos pacotes de trabalho com os próprios responsáveis interagindo com o modelo BIM.
- c) Utilização de cartões *kanban* de produção e de materiais orientados pelo modelo BIM. Prática do KanBIM de Sacks *et al.* (2013) em estudos brasileiros.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKKARI, A. M. P. **Interligação entre planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional MSProject**. 146 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 310 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BIOTTO, C. N. **Método de gestão da produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D**. 182 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

BALLARD, H. G. **The Last Planner System of Production Control**. Birmingham, 2000. Ph.D. Thesis. School of Civil Engineering. Faculty of Engineering. The University of Birmingham.

BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T. **Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social** Trabalho apresentado em: XIII ENTAC – ENCONTRO TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo, 2004

BULHÕES, I. R.; FORMOSO, C. T. **Desenvolvimento e aplicação de ferramentas gráficas para obras de habitação de interesse social** Trabalho apresentado em: IV SIBRAGEC e I ELAGEC – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO e ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, Porto Alegre, 2005

CODINHOTO, R.; MINOZZO, D. L. HOMRICH, M. C. FORMOSO, C. T. **Análise de restrições: definição e indicador de desempenho** Trabalho apresentado em: III SIBRAGEC – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, São Carlos, 2003

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., 2008.

FLORIO, W.; ARAUJO, N. S. **A importância da Tecnologia da Informação e de Modelos 3D/4D no Processo e Gestão de Projetos e Arquitetura.** Trabalho apresentado em: VI ENTECA – ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA, Maringá, 2007.

FORMOSO, C.T. ISATTO, E. L. **A nova filosofia de produção e a redução de perdas na construção civil.** In :VII ENTAC – ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO QUALIDADE NO PROCESSO CONSTRUTIVO 1998, Florianópolis.

FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, 2001.

FORMOSO, C. T. **Lean Construction: Princípios Básicos e Exemplos.** In NORIE: Nucleo Orientado para a Inovação da Edificação. UFRGS. Porto Alegre. 2002.

GARRIDO, M. C.; GUARDA, A. C.; MENDES JUNIOR, R.; SILVA, T. F. **Uso da modelagem BIM 4D no planejamento e execução de um empreendimento habitacional.** Trabalho apresentado em: III SBQP & VI TIC – Simpósio Brasileiro da Qualidade do Projeto no Ambiente Construído e

HARTAMANN, T.; ZANEN, P.P.A.; ALIOJIBOURI, S.H.S.; HEIJMANS, H.W.N. Using 4D CAD to visualize the impacts of highway construction on public. In: **Automation in Construction.** V 32, p. 136-144. 2013. Elsevier B.V.

HEINECK, L. F. M.; KEMMER, S. L.; NOVAES, M. V. MOURÃO, C. A. M. A. **O uso do andon no ambiente da construção civil: estudo de caso baseado na experiência de uma construtora cearense.** Trabalho apresentado em: V SIGRAGEC – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, Campinas, 2007

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction.** Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report 72.

KOSKELA, L. **Lean construction** Trabalho apresentado em: VII ENTAC – ENCONTRO TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Florianópolis, 1998

KOSKELA, L. An exploration towards a production theory and its application to construction. Espoo, 2000. Ph.D. Thesis. Technical Research Centre of Finland.

KOSKELA, L.; Making-do – the eighth category of waste. In: **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 10, 2004, Proceedings.... Helsingør, Denmark: IGLC, 2004

KHANZODE, A.; STAUB-FRENCH, S. 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. In: **Journal of Information Technology in Construction**. v. 12, p. 381-407, 2007.

LEAO, C. F. **Proposta de modelo para controle integrado da produção e da qualidade utilizando tecnologia da informação**. 178 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LEITE, F.; HAMDI, O. BIM and Lean interactions from the BIM capability maturity modelo perspective: a case study. In: **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 12, 2012, Proceedings.... San Diego, United States: IGLC, 2012

LEITE, F.; BHATLA, A. **Integration framework of BIM with the Last Planner System**. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 12, 2012, Proceedings.... San Diego, United States: IGLC, 2012

LI, H.; CHAN, N.; HUANG, T.; GUO, H. L.; LU, W.; SKITMORE, M. **Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis**. Automation in Construction, v. 18, n. 7, p. 912-918, 2010b. Elsevier B.V.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2004.

MENDES JUNIOR, R. **Programação da produção na construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. 1999. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MENDES JUNIOR, R.; SCHEER, S.; GARRIDO, M. C.; CAMPESTRINI, T. F. **Integração da Modelagem da Informação da Construção (BIM) com o planejamento e controle da produção** Trabalho apresentado em: XV ENTAC – ENCONTRO TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Maceió, 2014

MENEZES, A. M.; VIANA, M. L. S.; PEREIRA JR, M. L; PALHARES, S. R. **A adequação (ou não) dos aplicativos BIM às teorias contemporâneas de ensino de projeto de edificações.** Trabalho apresentado no: XIV CONGRESSO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL - SIGRADI 2010, Bogotá: Ediciones Uniandes, 2010.

MOURA, C. B. **Avaliação do impacto do sistema Last Planner no desempenho de empreendimentos da construção civil.** 170 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. **A indústria da construção na era da informação.** Ambiente Construído. V. 3, n. 1, p. 69-81. Jan/mar 2003

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

PICCHI, F. A.. **Oportunidades da aplicação do Lean Thinking na construção.** Ambiente Construído. V. 3, n. 1, p. 7-23. Jan/mar 2003

PICCHI, F. A.; RODRIGUES, M. R. **Análise de experiências de aplicação do lean thinking na construção de edificações no Brasil** Trabalho apresentado em: XIII ENTAC – ENCONTRO TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Canela, 2010

RONEN, B. **The complete kit concept.** Int. J. Prod. Res., V. 30, n. 10, p. 2457-2466. 1992

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

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R.; **Requirements of building information modeling based lean Production management systems for construction.** Automation in Construction, v. 19, n. 5, p. 641-655, 2010b. Elsevier B.V.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; OWEN, R. The interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, p. 1307-1315. nov. 2010

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. may. 2013

SCHEER, S.; MENDES JUNIOR, R.; CAMPESTRINI, T. F.; GARRIDO, M. C. **On site BIM model use to integrated 4D/5D activities and construction works: a case study on a Brazilian low income house enterprise.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Proceedings.... Orlando, United States: ICCCB, 2014

SPEAR, S.; **BOWEN, K. H. Decodificando o DNA do Sistema Toyota de Produção.** Harvard Business Review. 1999

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção.** Porto Alegre. Bookman, 1996.

SOARES, A. **Diretrizes para a manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas**

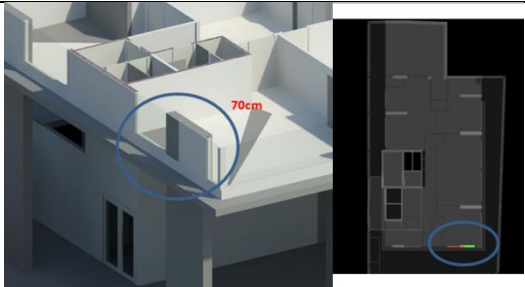
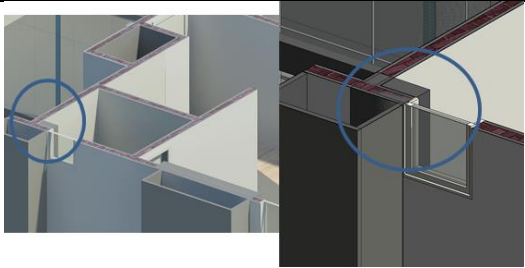
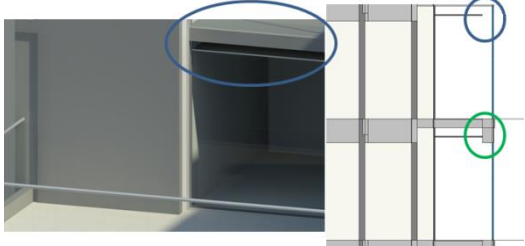
**construtoras.** 190 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

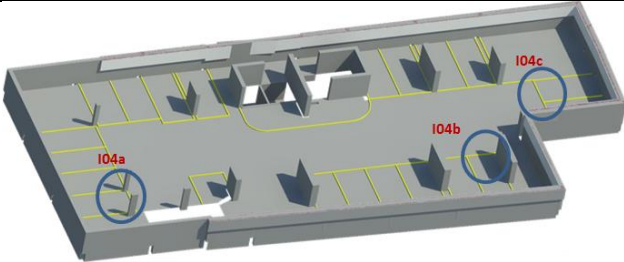

SUKSTER, R. **A integração entre o sistema de gestão da qualidade e o planejamento e controle da produção em empresas construtoras.** 158 f. Dissertação (Mestrado profissionalizante) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.


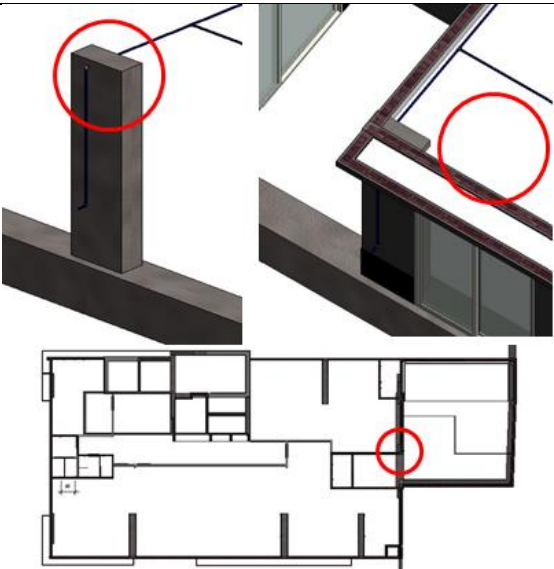
WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine e desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro: Campus, 1998.

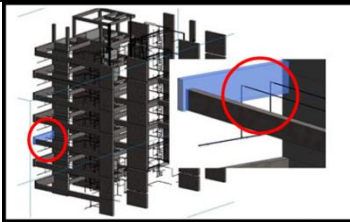
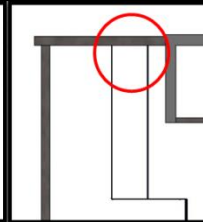
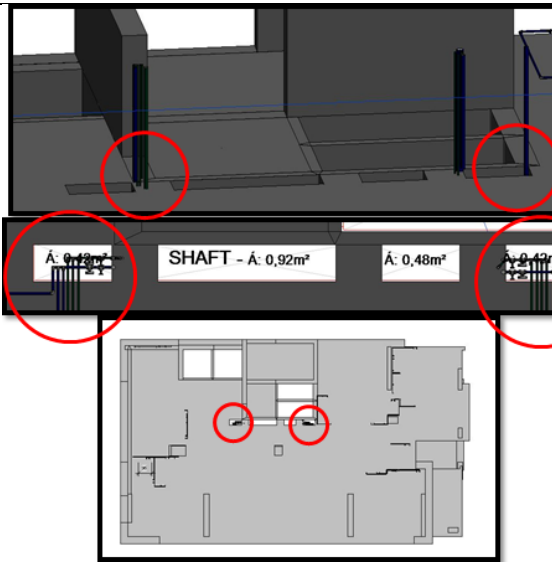
YIN, R. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre. Bookman. 2001.

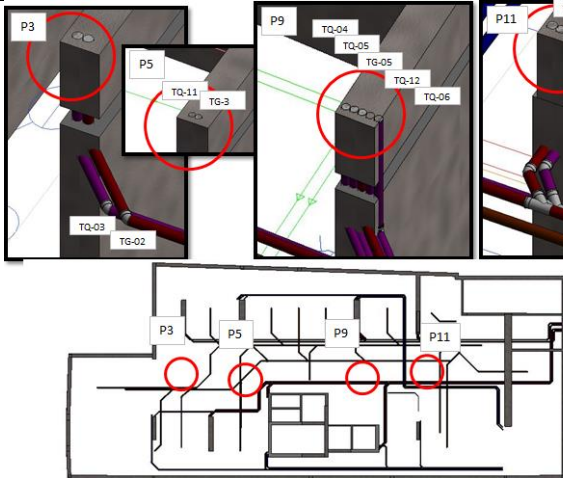
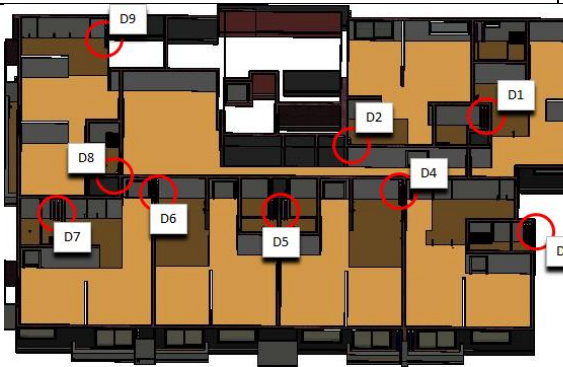
**APÊNDICE 1 – Relatório e descrição de incompatibilidades encontradas através da checagem “clash” automática para o empreendimento D.**

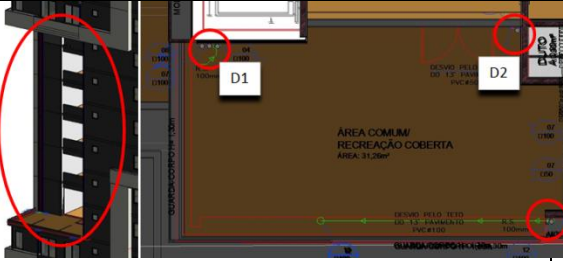
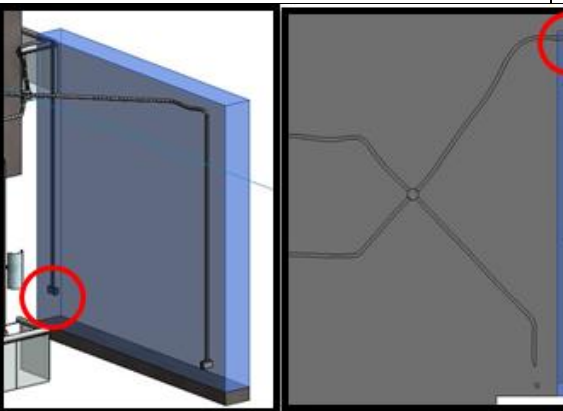
Item	Detalhe	Descrição	Local	Solução	Responsável
01		O pilar P11 está invadindo o vão da janela J08.	2º Pavimento.	Eliminar a J08.	Engenheiro de estruturas e arquiteto.
02		O pilar P12 está rente com a janela J01.	Todos os pavimentos	Deslocar a janela J01 dez centímetros para a direita (de quem a olha de dentro do cômodo).	Arquiteto.
03		Forro do hall de circulação acaba em parede sem viga para acabamento.	Na parte frontal do edifício nos pavimentos : 11º, 14º ao 19º e 24º.	Produzir uma alvenaria com 15 centímetros de altura, simulando uma viga.	Construtor e engenheiro de estruturas.
04a		Vaga 21 deveria ter 2,40 metros de largura e tem 2,21 metros e a	Subsolo	Eliminar o P110 (pilar acima na imagem) e alinhar o P109 com o P111 (pilares abaixo na	Engenheiro de estruturas.

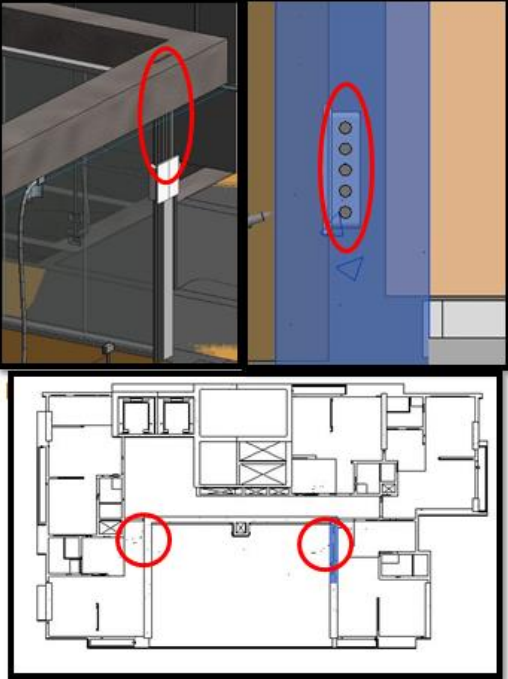
		vaga 20 deveria ter 2,40 metros de largura e está com 2,26 metros.		imagem). Os pilares terão formato alterado e a rampa de acesso passa a ter 4,65 m de comprimento e 20% de inclinação.	
04b		A vaga de garagem nº06 deveria ter 2,40 metros de largura e está apenas com 2,14 metros por conta de um pilar.	Subsolo	Distribuir as duas vagas que ali constam entre o espaço.	Arquiteto e incorporador.
04c		As vagas 7 e 8 estão com 2,40 metros e 2,36 metros de largura respectivamente.	Subsolo	Aumentar a vaga 8 para 2,40 metros deslocando ao lado.	Arquiteto.
05		Não foi deixado um espaço para maquinário de piscina.	2º pavimento	Será elaborada uma laje abaixo da piscina, apoiada em pilares locais, para o maquinário.	Engenheiro estrutural.

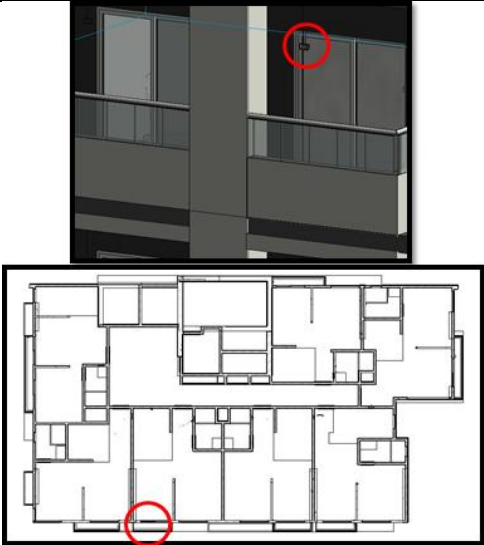
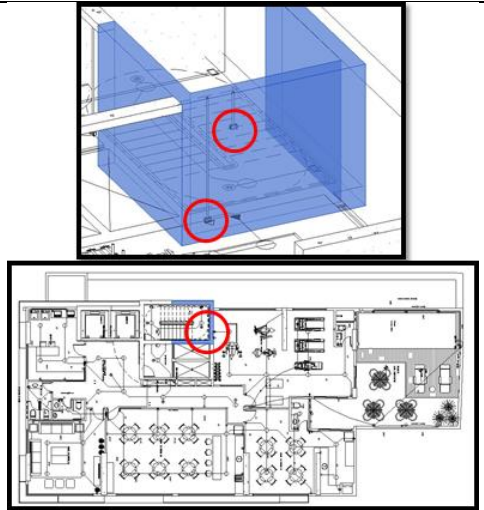
06		<p>Os registros do chuveiro estão coincidindo com as prumadas de esgoto (TQ07) e ventilação (CV07).</p>	<p>Quitinetes 2, 3 e 6 em todos os pavimentos.</p>	<p>Nas quitinetes 3 e 6, a tubulação de água fria e quente serão deslocadas para evitar o conflito. Na quitinete 2 a tubulação de prumada será deslocada para o lado do vaso sanitário.</p>	<p>Engenheiro de instalações hidráulicas.</p>
07		<p>Tubulação de água fria (25 mm PVC) passando a 2,70 metros de altura e incidindo internamente ao pilar P2</p>	<p>2º Pavimento</p>	<p>Deslocar a tubulação para fora do pilar e prever preenchimento para omitir a tubulação.</p>	<p>Construtor e engenheiro de instalações hidráulicas.</p>

08	 	<p>Tubulação de água fria (25 mm PVC) e água quente (22 mm PPR) passando internamente a uma viga.</p>	<p>Do 22º ao 25º Pavimento.</p>	<p>Deslocar a tubulação para fora da viga. Ao terminar a viga, embutir os tubos na alvenaria com auxílio de um desvio com joelhos curtos de 90 graus.</p>	<p>Construtor e engenheiro estrutural.</p>
09		<p>Shafts em projeto estrutural não condizem com o especificado em projeto arquitetônico. Isso penaliza a passagem de tubulações elétricas e hidráulicas.</p>	<p>Em todos os pavimentos.</p>	<p>Os dois shafts centrais deverão ser unificados. Os shafts das extremidades serão mantidos em conformidade com o projeto estrutural. Para o shaft central, os equipamentos elétricos terão espaço de 0,92 metros quadrados.</p>	<p>Construtor, arquiteto, engenheiro de estruturas, engenheiro de instalações hidráulicas e engenheiro de instalações elétricas.</p>

10		<p>Tubulações de esgoto interferem em pilares (P3, P5, P9 e P11).</p>	<p>Subsolo, térreo e 2º pavimento.</p>	<p>Deslocar as tubulações para não passem pelos pilares.</p>	<p>Engenheiro de estruturas e engenheiro de instalações hidráulicas.</p>
11		<p>É preciso prever o enchimento para omissão destas tubulações. Pela grande quantidade pode ser justificada uma tecnologia específica.</p>	<p>Do 3º ao 25º pavimento; no detalhe de fachada.</p>	<p>Adotar enchimento estruturado com paredes leves (<i>drywall</i>).</p>	<p>Arquiteto e construtor.</p>

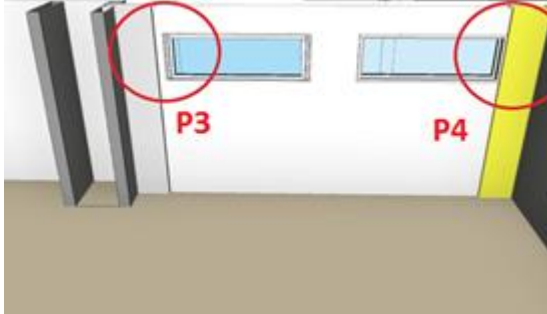

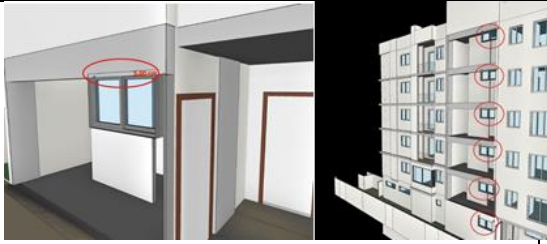
					
12		<p>Tomada com altura de 30 centímetros em relação ao piso estão coincidindo com o pilar P3.</p>	<p>Do 3º ao 25º pavimento.</p>	<p>Deslocar a tubulação.</p>	<p>Engenheiro de instalações elétricas e construtor.</p>

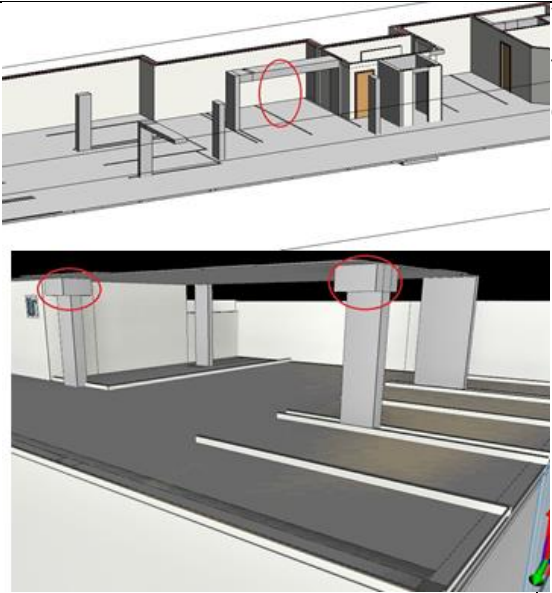
13		<p>Quadro de distribuição dos circuitos elétricos interno à quitinete está interferindo em uma viga.</p>	<p>Nas quitinetes 3 e 6 dos pavimentos 8º ao 11º e 21º ao 24º</p>	<p>Na reunião de incompatibilidades ficou decidido que a arquitetura deveria fazer uma relocação nos móveis da cozinha e desta forma na quitinete 3 o quadro de energia passaria a ser na parede que faz divisa com o banheiro. Na quitinete 6 foi relocado para parede que faz divisa com o shaft.</p>	<p>Arquiteto, construtor e engenheiro de instalações elétricas.</p>
----	---	--	---	---	---

14		Pontos de eletricidade para ar condicionado estão a 2,20 metros de altura e se chocando com porta janela.	Do 3º ao 7º pavimentos e 12º ao 20º pavimentos e 25º.	Deslocar o ponto de ar condicionado lateralmente fugindo da janela e deixa-lo a 30 centímetros em relação ao piso.	Arquiteto e construtor.
15		Pontos de eletricidade dentro de pilar em “U” da caixa de corrida do elevador.	2º Pavimento	Deslocar o ponto para a parede que delimita este cômodo e a escada.	Construtor e engenheiro de instalações elétricas.

**APÊNDICE 2 – Relatório e descrição de incompatibilidades encontradas através da checagem “clash” automática para o empreendimento**

**3.**

Item	Detalhe	Descrição	Local	Solução	Responsável
01		A janela J03 está a 9,5 centímetros de distância do pilar P3 e 4 centímetros de distância do P4.	Térreo	Substituição de ambas as janelas por apenas uma com 15 centímetros de distância de cada pilar.	Arquiteto e construtor.
02		Pilar P12 está desalinhado com a parede, gerando requadros em ambos os lados. Um destes requadros possui 14 centímetros.	Suíte do térreo (única)	Alinhamento do pilar com a parede e alteração de seção para 24 x 74 centímetros, reduzindo o requadro para 9 centímetros.	Engenheiro de estruturas, arquiteto e construtor.
03		A janela J14 está se sobrepondo a viga de bordo em cinco centímetros.	Do térreo ao 6º pavimento.	Redução da altura da viga de 50 para 45 centímetros.	Engenheiro de estruturas, arquiteto e construtor.

04		<p>Vigas e blocos de transição em pilares do subsolo limitam o pé direito a 2,28 metros.</p>	Subsolo	<p>O pé direito será aumentado em oito centímetros, exigindo que cada degrau da escada aumente 0,5 centímetros.</p>	<p>Arquiteto e engenheiro de estruturas.</p>
----	---	--	---------	---	--

05		Tubulações de esgoto passando pela viga V10 entre os pilares P1 e P19.	Subsolo	Criação de um espaço de alvenaria de 60 por 60 centímetros para desviar da viga.	Engenheiro de instalações hidráulicas e construtor.
06		Tubulações estão limitando o pé direito do subsolo a menos de 2,40 metros, o mínimo exigido para circulação.	Subsolo	Com a elevação no pé direito do subsolo de oito centímetros, a situação seria regularizada.	Arquiteto e engenheiro de estruturas.
07		Tubulações aparentes em circulação do térreo.	Térreo	O projeto estrutural previu um enchimento por todo o perímetro, com armadura mínima, para que fosse possível a elaboração de um forro.	Engenheiro estrutural, construtor e arquiteto.

08	<p>Detalhe bwc térreo - Projeto elétrico</p> <p>Detalhe bwc térreo - Projeto Arquitetônico</p>	Diferença de versões e falta de comunicação entre arquitetura e instalações elétricas gerou uma incompatibilidade.	Térreo	O engenheiro de instalações elétricas precisou revisar todo o seu projeto.	Engenheiro de instalações elétricas e arquiteto.
09		Tubulação elétrica e quadro de distribuição interno passando pelos pilares P1 e P13, respectivamente.	2º Pavimento até o 6º pavimento	Alterar a posição do quadro de distribuição para frente da lavadora e desviar a tubulação que encontra o pilar P1.	Engenheiro de instalações elétricas e arquiteto.